

Optimierung der ökologischen Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken mittels weit geöffneter Durchlässe



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Optimizing the ecological continuity of flood retention basins using wide open passages

Bachelor-Thesis

Daniel Simon | Matrikelnummer: 1964239

18. November 2015

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Betreuer:

Prof. Dr. – Ing. habil. Boris Lehmann

Dr. – Ing. Dirk Jelinek

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann

Franziska-Braun-Straße 7, 64287 Darmstadt, Tel. +49 6151 16 - 4067



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Aufgabenstellung für die Bachelor-Arbeit

von Herrn

Daniel SIMON (Matrikelnummer 1964239)

Optimierung der ökologischen Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken mittels weit geöffneter Durchlässe

**Optimizing the ecological continuity of flood retention basins using
wide open passages**

Bearbeitungszeitraum

4 Monate gemäß Studienordnung

Veranlassung und Thema

Ausgelöst durch extreme Witterungen mit heftigen Starkniederschlägen und resultierenden Hochwassern sollen auch in Deutschland weitere Hochwasserrückhaltebecken gebaut werden. Die Becken stellen in der Regel, da im Hauptschluss der Gewässer liegend, ein Querbauwerk dar, dessen Realisierung insbesondere aus ökologischen Gründen häufig schwierig ist.

Es existieren bereits verschiedene Ansätze und technische Lösungen, um die Durchgängigkeit eines Fließgewässers auch an einer Sperrenstelle zu gewährleisten (z. B. Ökotunnel, Ökoschlucht, etc.). Diese Lösungen können allerdings andere Aspekte der Durchgängigkeit – z. B. Sicherstellung des Kaltluftabflusses von Hängen, Sicherstellung der Verkehrsdurchgängigkeit für Landwirtschaft, Forst, Tourismus etc. – häufig nicht zufriedenstellend lösen.

Der geschlossene Damm wird strenggenommen nur während weniger Hochwasserereignisse benötigt. I.d.R. betrifft dies Hochwasser mit einer Jährlichkeit von mehreren Jahrzehnten. Es würde sich daher anbieten, den Damm weit offen zu gestalten und nur für seltene Hochwasserereignisse komplett zu schließen. Neben der durchgängigen Gewäs-

serstrecke könnten z. B. auch Wegebeziehungen aufrechterhalten werden, der Luftaustausch wäre gesichert und die Störung des Landschaftsbildes deutlich gemildert. Hierzu könnten z.B. hydraulische Strukturen in Anlehnung an Schleusentore eingesetzt werden, die im Hochwasserfall geschlossen werden und die Abgabe an das Unterwasser mittels Schlitzten / Planschiebern etc. begrenzen.

Offen ist noch, ob oder wie dieses Konzept wirtschaftlich umsetzbar ist, hydraulisch greift und auch in kleineren Einzugsgebieten mit kurzen Hochwasser-Vorwarnzeiten überhaupt zuverlässig eingesetzt werden kann.

Arbeitsschritte

In einem ersten Schritt sollen die technisch/hydraulischen Anforderungen an Hochwasserrückhaltebecken sowie die Anforderungen aus sonstigen Interessen (Ökologie, Flächennutzung, etc.) recherchiert, aufbereitet und zusammengestellt werden.

Es soll dann ein Konzept erarbeitet werden, bei dem anhand eines realen Projektbeispiels insbesondere folgende Fragestellungen überprüft und beantwortet werden sollen:

- Welche Bauwerksabmessungen sind für die gestellten Anforderungen erforderlich?
- Wie kann der Regelabfluss nach Unterwasser im Hochwasserfall auch unter Aspekten der Verlegung durch Geschiebe oder Treibholz sichergestellt werden?
- Welche technischen und/oder betrieblichen Lösungen erscheinen sinnvoll, um auch auf kurze oder nicht bestehende Hochwasser-Vorhersagen reagieren zu können?

Kosten-/Nutzenbetrachtungen an dem genannten realen Projektbeispiel sollen aufzeigen, welche Chancen das Konzept für Hochwasserschutz, Ökologie und Flächennutzung birgt und wo es ggf. besonders vielversprechend einsetzbar wäre.

Aus einer Diskussion der Ergebnisse und einem Vergleich mit anderen projektierten oder realisierten Konzepten soll sich schließlich ergeben, welche offenen Fragen ggf. zur weiteren Entwicklung und Durchsetzung der Idee in einer tiefergehenden Studie zu klären sind.

Modalitäten

Betreuer/in	Dr.-Ing. Dirk Jelinek ARCADIS Deutschland GmbH d.jelinek@arcadis.de Prof. Boris Lehmann FG Wasserbau und Hydraulik Lehmann@wb.tu-darmstadt.de	Empfohlene Kenntnisse	- Grundlagen Deich- und Sperrenbau im Wasserbau - Grundlagen Hydraulik und Hydrologie - Grundlagen Umwelttechnik / Ökologie
Bearbeitungszeitraum	Auslösung nach Vereinbarung	Arbeitsbedingungen	Heimarbeit

Hintergrundliteratur

DIN 19700

EU-WRRL

Weitere Literatur kann von ARCADIS und vom Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft nach dem Startgespräch benannt werden.

Unterschriften und Stempel

Darmstadt, den 9.6.2015

Technische Universität Darmstadt
Fachbereich 13
Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik
Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann
Franziska-Braun-Straße 7 / 64287 Darmstadt

B. Lehmann

Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung.....	II
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Anforderungen an Hochwasserrückhaltebecken	3
2.1 Allgemeines	3
2.2 Technische Anforderungen.....	5
2.3 Ökologische Anforderungen.....	6
2.4 Sonstige Anforderungen	8
3 Bisherige Ansätze zur Optimierung der ökologischen Durchgängigkeit.....	9
3.1 Ökotunnel.....	9
3.2 Ökoschlucht	9
3.3 Schwingklappe.....	10
4 Das Konzept der weit geöffneten Durchlässe	12
4.1 Favorisiertes System	15
4.2 Funktionsweise	18
5 Kosten-/ Nutzenanalyse an einem Projektbeispiel	22
5.1 Projektgebiet	22
5.2 Vorplanung	24
5.3 Anwendung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe.....	27
5.3.1 Bemessung Grundablass, Ökologischer Durchlass und Betriebsauslass .	29
5.3.2 Gestaltung der Uferbereiche	31
5.3.3 Gestaltung der Stemmtore	31
5.3.4 Hochwasserentlastung	35
5.4 Kostenschätzung	35
5.5 Weitere Vergleichsaspekte.....	38
5.5.1 Hochwasserschutz	38
5.5.2 Ökologie	39

5.5.3	Verkehrsdurchgängigkeit.....	41
5.5.4	Flächenverbrauch.....	41
5.5.5	Eingriffe in das Landschaftsbild.....	41
6	Möglichkeiten und Grenzen des Konzeptes.....	43
6.1	Projektbeispiel Lahnemühle	44
6.1.1	Baukosten	44
6.1.2	Hochwasserschutz	44
6.1.3	Ökologie	44
6.1.4	Verkehrsdurchgängigkeit.....	44
6.1.5	Flächenverbrauch.....	45
6.1.6	Eingriffe in das Landschaftsbild.....	45
6.1.7	Ergebnis	45
6.2	Allgemeine Betrachtung	46
7	Zusammenstellung der offenen Fragen	47
7.1	Überströmung der Stemmtore.....	47
7.2	Anordnung der Hydraulikzylinder.....	48
7.3	Elektrische Ausrüstung	49
7.4	Konstruktive Aspekte	49
8	Zusammenfassung und Ausblick	50
	Anhang	X
	Literaturverzeichnis.....	XXV
	Eidesstattliche Erklärung.....	XXX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken	4
Abbildung 2-2: Maßnahmen zur Reduzierung der ökologischen Beeinträchtigungen	7
Abbildung 2-3: Maßnahmen zur Gewährleistung der ökologischen Durchgängigkeit	8
Abbildung 3-1: Ökotunnel.....	9
Abbildung 3-2: Ökoschlucht am HRB Hornbach.....	10
Abbildung 3-3: Funktionsweise der Schwingklappe.....	11
Abbildung 4-1: Zusammenfassende Bewertung der wesentlichen Torverschlüsse	13
Abbildung 4-2: Flügeltor als Obertor der Bootsschleuse Schwenningen/Donau.....	14
Abbildung 4-3: Schnitt durch Absperrbauwerk in wasserseitiger Böschung (Stemmtore geschlossen)	15
Abbildung 4-4: Schnitt durch Absperrbauwerk in wasserseitiger Böschung (Stemmtore geöffnet)	15
Abbildung 4-5: Draufsicht Stemmtore	16
Abbildung 4-6: Beispiel einer Treibgutsperre aus Stahl am HRB Hornbach	20
Abbildung 5-1: Lage des HRB Lahnmühle / Bracht	23
Abbildung 5-2: Standort des geplanten Absperrbauwerkes	24
Abbildung 5-3: Elemente des Stemmtores.	32
Abbildung 5-4: Stemmtor am Unterhaupt der Donau-Schleuse Regensburg.....	33
Abbildung 5-5: Halslager und hydraulischer Antrieb des Stemmtores am Unterhaupt der Donau-Schleuse Regensburg.	34
Abbildung 7-1: Strahlaufreißer.....	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: Kennwerte der Varianten der Vorplanung	25
Tabelle 5-2: Angaben zum Dammkörper	25
Tabelle 5-3: Freiwillige Feuerwehren im Umkreis des HRB Lahnemühle / Bracht	28
Tabelle 5-4: Vergleich der Baukosten	37
Tabelle 6-1: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe im Vergleich mit der „Ökoschlucht“	43

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
HRB	Hochwasserrückhaltebecken
HWEA	Hochwasserentlastungsanlage
HWBF	Hochwasserbemessungsfall
BHQ	Bemessungshochwasserzufluss
EG-WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
GA	Grundablass
BA	Betriebsauslass
ÖD	Öko-Durchlass
OK	Oberkante

1 Einleitung

Die Hochwasserereignisse der jüngsten Vergangenheit (z.B. Elbhochwasser 2006, Hochwasser in Mitteleuropa 2013) haben den Hochwasserschutz wieder zu einem aktuellen Thema gemacht. Angesichts des prognostizierten Klimawandels und dem Trend zur globalen Erwärmung ist zudem mit einer Zunahme extremer Wetterereignisse zu rechnen (Umweltbundesamt 2008, S. 5). Der Hochwasserrückhaltung wird zukünftig also eine wachsende Bedeutung zukommen.

Bei den Vorkehrungen zum Hochwasserschutz kann zwischen natürlichen Rückhaltmaßnahmen sowie hochwasservorsorgenden und technischen Maßnahmen unterschieden werden (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 1995, S. 7–18). Durch natürliche Rückhaltmaßnahmen soll möglichst viel Wasser an einem sofortigen Abfließen gehindert und im Gewässer gehalten werden. Die Hochwasservorsorge unterteilt sich in die vier Handlungsfelder der Flächen-, Bau-, Verhaltens- und Risikovorsorge. Gemeinsames Ziel ist eine gute Vorbereitung auf etwaige Hochwasserereignisse, um Schäden möglichst gering halten zu können. Als technische Vorkehrungen bezeichnet man bauliche Maßnahmen zum Schutz vor Hochwasser bis zu einem bestimmten Bemessungsfall. Dieser Kategorie sind auch Hochwasserrückhaltebecken (HRB) und Talsperren zuzuordnen.

Zu Zeiten der 1980er Jahre erfolgte die Gestaltung von HRB noch ausschließlich nach technischen und hydraulischen Gesichtspunkten. Oftmals wurden Becken mit Dauerstau geplant, die neben der Hochwasserschutzfunktion auch Zwecke der Freizeit und Erholung erfüllen konnten. Aspekte der ökologischen Durchgängigkeit haben erst gegen Anfang der 1990er Jahre an Bedeutung gewonnen. Dies umfasste neben der aquatischen auch mehr und mehr die amphibische und terrestrische Tierwelt (Ökologische Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken 2006, S. 1, 4). Heute ist die Anforderung einer guten ökologischen Durchgängigkeit fester Bestandteil der Planungs- und Gestaltungsmaßnahmen von Hochwasserrückhaltebecken (Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW 2007, S. 23). Trotzdem erfüllen viele Bauwerke diese Ansprüche nur bedingt. Dabei definiert vor allem die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) das Ziel, einen „guten Zustand“ aller Gewässer bis 2015 zu erreichen. Die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte haben verschiedene An-

sätze zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken hervorgebracht. Allerdings ist auch der Einsatz dieser Systeme noch immer mit größeren Eingriffen in den Naturhaushalt verbunden. Probleme wie die Behinderung des Kaltluftabflusses oder die Veränderung des Mikroklimas infolge des Absperrbauwerkes bestehen weiterhin. Auch ist die Möglichkeit einer (Verkehrs-) Durchgängigkeit für die Land- und Forstwirtschaft sowie den Tourismus oftmals nicht gegeben (ATV-DVWK 2001, S. 67–70).

Das Ingenieurbüro ARCADIS Deutschland GmbH mit Hauptstandort in Darmstadt ist daher an der Entwicklung eines Konzeptes zur Optimierung der ökologischen Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken interessiert. Dabei soll das Absperrbauwerk möglichst „offen“ gestaltet werden, sodass das Gewässer im Normalfall unbeeinträchtigt das Bauwerk passieren kann und die ökologischen Auswirkungen auf ein Minimum reduziert werden. Im Falle eines Hochwasserereignisses soll der Damm geschlossen sein, um seine Schutzfunktion für die Unterlieger zu erfüllen. Ein solches Konzept soll im Rahmen dieser Bachelorarbeit entwickelt und auf verschiedene Untersuchungskriterien hin überprüft werden. Dafür werden in einem ersten Schritt die grundlegenden Aspekte und Anforderungen an Hochwasserrückhaltebecken benannt. Es werden dann bisherige Ansätze zur Optimierung der ökologischen Durchgängigkeit kurz vorgestellt, bevor der Fokus auf die Entwicklung des Konzeptes gelenkt wird. Eine Kosten-/ Nutzenanalyse an einem realen Projektbeispiel soll dabei Möglichkeiten und Grenzen des Konzeptes aufzeigen und dieses in Bezug zu der gemäß Vorplanung favorisierten Variante stellen. Im Anschluss werden die im Rahmen der Bearbeitung offen gebliebenen Fragen zusammengetragen, an die im Falle tiefergehender Untersuchungen angeknüpft werden sollte. Zum Schluss erfolgt eine zusammenfassende Bewertung des Konzeptes und es wird ein Ausblick über einen möglichen weiteren Verlauf gegeben.

2 Grundlagen und Anforderungen an Hochwasserrückhaltebecken

2.1 Allgemeines

Hochwasserrückhaltebecken sind Stauanlagen gemäß DIN 19700, die einen Teil des Hochwasserabflusses zeitweise zurückhalten und dadurch die Abgabe nach Unterwasser verringern (Lecher 2015, S. 559). Sie dienen somit dem Schutz vor Hochwasser (DIN 19700-12, S. 5) und gehören zur Kategorie des technischen Hochwasserschutzes (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2013, S. 38). Der Sicherheit der Unterlieger als auch der des Bauwerks wird allerhöchste Priorität zugewiesen (ATV-DVWK 2001, S. 84). Ist der Rückhalteraum nur zeitweise mit Wasser gefüllt, spricht man von Hochwasserrückhaltebecken ohne Dauerstau oder „Trockenbecken“. Dem stehen Hochwasserrückhaltebecken mit Dauerstau gegenüber, bei denen stets Wasser im Beckenraum vorhanden ist (DIN 19700-12, S. 5). Die Bezeichnung der einzelnen Komponenten eines Hochwasserrückhalterumes ist Anhang A 1 zu entnehmen.

Im Gegensatz zu Hochwasserrückhaltebecken verfolgen Talsperren neben dem Schutz vor Hochwasser noch weitere Nutzungsaspekte wie z.B. die Energiegewinnung durch Wasserkraftnutzung oder Zwecke der Wasserbereitstellung (DIN 19700-11, S. 14). Allerdings können auch Hochwasserrückhaltebecken mit Dauerstau bei Vorhandensein weiterer Nutzungsaspekte Talsperren im Sinne der DIN 19700 sein. Entsprechende Einstufungskriterien sind der „Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken“ zu entnehmen (Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW 2007, S. 9). In Deutschland sind die genauen Festlegungen zu Stauanlagen in der DIN 19700 festgehalten. Gemäß den Merkmalen der einzelnen Stauanlagenarten ist sie in einzelne Teilabschnitte gegliedert, wobei sich Teil 11 mit Talsperren und Teil 12 mit Hochwasserrückhaltebecken befasst (DIN 19700-11 bzw. DIN 19700-12).

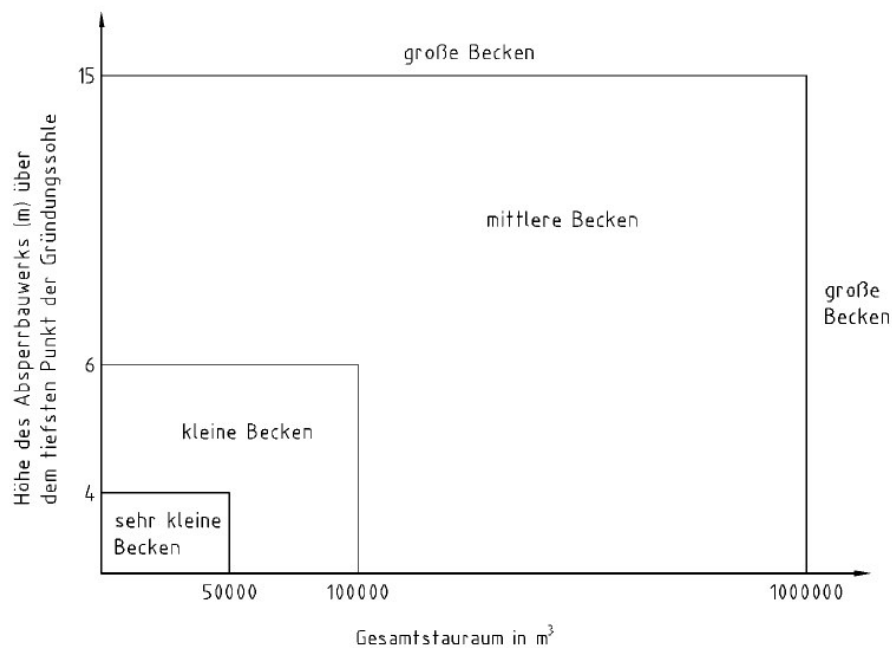


Abbildung 2-1: Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken (DIN 19700-12, S. 4)

Hochwasserrückhaltebecken werden entsprechend Abbildung 2-1 klassifiziert. Dabei berücksichtigt die Einteilung in Klassen eine von der Anlage ausgehende Gefährdung. Die geometrischen Größenangaben dienen einer besseren Orientierung anhand von Anhaltswerten. Auf- oder Abklassifizierungen sind nach durchgeführten Sicherheitsbetrachtungen erlaubt. Die Voraussetzungen hierfür sowie weitere Details sind der „Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken“ zu entnehmen (Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW 2007, S. 14).

Die Lage des HRB zum Gewässer spielt ebenso eine wichtige Rolle. So unterscheidet die DIN 19700-12 zwei Fälle. Fließt das Gewässer durch das Becken, so handelt es sich um Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss. Befindet sich das Becken hingegen seitlich neben dem Gewässer und wird somit nicht unmittelbar durchflossen, spricht man von HRB im Nebenschluss bzw. Flutpoldern, die je nach Betriebszustand geflutet oder entleert werden können (Strobl und Zunic 2006, S. 419–420). Hochwasserrückhaltebecken können sowohl gesteuert als auch ungesteuert betrieben werden, wobei erstere die größere Effizienz aufweisen (Strobl und Zunic 2006, S. 421).

In den nachfolgenden Abschnitten wird nun genauer auf die technischen, ökologischen und sonstigen Anforderungen an Hochwasserrückhaltebecken eingegangen.

2.2 Technische Anforderungen

Die DIN 19700-12 unterscheidet folgende Betriebseinrichtungen bei Hochwasserrückhaltebecken:

- Grundablass (GA)
- Betriebsauslass (BA)
- Hochwasserentlastungsanlage (HWEA)
- Anlagen zur Energieumwandlung (DIN 19700-12, S. 9)

Der Grundablass dient zur kompletten Entleerung des Rückhalterumes, während mit dem Betriebsauslass ein Teil des Hochwasserabflusses, die sogenannte „Regelabgabe“, gezielt abgeführt werden kann. Beide Komponenten verfügen in den meisten Fällen über bewegliche Verschlussorgane (Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW 2007, S. 34). Während bei Hochwasserrückhaltebecken mit Dauerstau in der Regel Betriebsauslass und Grundablass getrennt sind, finden sich diese Komponenten bei Trockenbecken zusammengefasst in einem Bauwerk (DIN 19700-12, S. 9). Fließt bei Hochwasser mehr Wasser dem Rückhaltebecken zu als es fassen kann, so muss das überschüssige Wasser über die Hochwasserentlastungsanlage abgeführt werden. Hinter der HWEA sowie am Auslauf von Betriebsauslass und Grundablass sind Energieumwandlungsanlagen erforderlich (Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW 2007, S. 38). Sie bremsen die ankommenden Wassermassen ab und verhindern eine Erosion der nachfolgenden Gewässerabschnitte (DIN 19700-11, S. 46). Zusammenfassend gilt für alle Betriebseinrichtungen, dass sie zu jeder Zeit funktionstüchtig sein müssen. Außerdem ist das Vorhandensein einer Betriebsvorschrift erforderlich (DIN 19700-12, S. 9, 11).

Für Planung und Betrieb der Anlage ist die Kenntnis der Abflüsse am jeweiligen Standort notwendig (DIN 19700-10, S. 8). Die DIN 19700-10 definiert bei der Bemessung einer Stauanlage folgende Hochwasserbemessungsfälle.

Hochwasserbemessungsfall 1 (HWBF 1):

Der HWBF 1 dient der Dimensionierung der Hochwasserentlastungsanlage. Dafür wird ein Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1 definiert, bis zu dem die „Tragsicherheit“,

„Gebrauchstauglichkeit“ und „Dauerhaftigkeit“ der Stauanlage zu gewährleisten ist (DIN 19700-10, S. 13).

Hochwasserbemessungsfall 2 (HWBF 2):

Bei dem HWBF 2 wird ein Zuflusswert BHQ_2 festgelegt, der seltener auftritt als BHQ_1 und demzufolge größer ist. Die Stauanlage muss dem BHQ_2 „ohne globales Versagen“ (DIN 19700-10, S. 13) standhalten. Es darf dabei keine Gefahr für die Tragsicherheit des Bauwerkes bestehen. Zusätzlich zur Hochwasserentlastungsanlage können Notentlastungen zum Abführen der Wassermassen verwendet werden.

Hochwasserbemessungsfall 3 (HWBF 3):

Da Hochwasserrückhaltebecken Ziele des Hochwasserschutzes verfolgen, findet der HWBF 3 Beachtung. In Abhängigkeit der Abflusssituation im Unterwasser, den Auswirkungen auf die Unterlieger sowie dem Wert der potenziell betroffenen Flächen und Güter wird ein Zuflusswert BHQ_3 definiert. Der gewöhnliche Hochwasserrückhalte-
raum I_{GHR} wird auf Grundlage des BHQ_3 bemessen, bei Überschreitung des Wertes kommt die HWEA zum Einsatz und die Anlage gibt mehr Wasser an die Unterlieger ab. Folglich vermindert sich die Schutzwirkung des Hochwasserrückhaltebeckens, im Extremfall kann sie sogar komplett zum Erliegen kommen (DIN 19700-10, S. 14).

Weitere Details zu den Technischen Anforderungen an HRB sind den Teilen 10-12 der DIN 19700 zu entnehmen.

2.3 Ökologische Anforderungen

Die Berücksichtigung ökologischer Belange bei der Planung und Umsetzung von Hochwasserrückhaltebecken hat in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung gewonnen. Zu Zeiten der 1980er Jahre erfolgte die Gestaltung von HRB noch ausschließlich nach technischen Gesichtspunkten. Heute existieren verschiedene Lösungsansätze zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit (Ökologische Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken 2006, S. 1, 4).

Die EG WRRL definiert das Ziel, einen „guten Zustand“ aller Gewässer bis 2015 zu erreichen (Richtlinie 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie) Artikel 1a). Nach § 27 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) ist für oberirdische Gewässer ein „guter ökologischer

und chemischer Zustand“ anzustreben. Die ökologischen Beeinträchtigungen infolge des Bauwerkes sollen auf ein Minimum reduziert werden (DIN 19700-10, S. 14) und die Durchgängigkeit muss gewährleistet sein (Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW 2007, S. 23). Einzelne Maßnahmen hierzu sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

Maßnahmen zur Reduzierung der ökologischen Beeinträchtigungen durch ein HRB (Beispiele)

- Integration des Absperrbauwerkes in die Landschaft
- Trockenbecken sollten HRB mit Dauerstau vorgezogen werden
- Der Einstau von Wasser im HRB sollte generell so selten und kurzzeitig wie möglich erfolgen
- Vermeidung großer Wassertiefen im HRB
- Keine Staumauern und -dämme mit Oberflächendichtung einsetzen
- HRB im Nebenschluss sind HRB im Hauptschluss aus ökologischen Gründen vorzuziehen
- Gesteuerte Anlagen sind ökologisch wertvoller als ungesteuerte
- Der Raum des HRB sollte sich soweit wie möglich natürlich entwickeln können

Quellen:

- ATV-DVWK 2001, S. 74, 78
- DIN 19700-10, S. 15
- DIN 19700-12, S. 8
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2006, S. 11

Abbildung 2-2: Maßnahmen zur Reduzierung der ökologischen Beeinträchtigungen

Maßnahmen zur Gewährleistung der ökologischen Durchgängigkeit von HRB (Beispiele)

- Dimensionierung des ökologischen Durchlasses nach Anforderungen der lokalen Flora und Fauna ausrichten
- Raue Ausgestaltung der Gewässersohle und Einsatz von gewässertypischem Substrat
- Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit des Gewässers sollten möglichst unbeeinträchtigt bleiben
- Anpassung des Durchlassquerschnittes an natürlichen Gewässerquerschnitt
- Vollständige Öffnung des Grundablasses wenn Becken nicht eingestaut ist, um großen Querschnitt freizugeben
- Lichtzufuhr im Absperrbauwerk gewährleisten
- Regelmäßige Freiräumung von Treibgutsperrern und Rechen
- Möglichst flache Ausgestaltung der Dammböschung
- Beidseitige Anordnung von Uferbermen

Quelle:

– Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013j, S. 46

Abbildung 2-3: Maßnahmen zur Gewährleistung der ökologischen Durchgängigkeit

2.4 Sonstige Anforderungen

Neben den technischen und ökologischen Ansprüchen gibt es noch weitere Aspekte, aus denen sich Anforderungen an HRB ergeben können. Hierauf wird nachfolgend kurz eingegangen.

Je nach Art der Flächennutzung und Wert der potenziell betroffenen Güter im Bereich der Staufläche und nahen Umgebung, kann ein Einstau im Hochwasserfall mit hohen Folgekosten verbunden sein. So können durch Eingriffe in den Naturhaushalt nach § 13 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) Ausgleichsmaßnahmen erforderlich werden. Durch die Errichtung eines Absperrbauwerkes und den (zeitweisen) Einstau kann es zudem zu einer Beeinträchtigung der lokalen Infrastruktur sowie land- und forstwirtschaftlicher Flächen kommen. Existierende Wegebeziehungen müssen ggf. kostspielig umverlegt und Zufahrten zum HRB neu errichtet werden. Aber auch sonstige Flächen, wie z.B. solche, die zum Zwecke der Erholung und Freizeitgestaltung dienen, können durch den Bau eines HRB beeinflusst werden.

3 Bisherige Ansätze zur Optimierung der ökologischen Durchgängigkeit

Durchgängigkeit

Zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit eines Gewässers an einem Absperrbauwerk sind bereits unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten entwickelt worden. Nachfolgend wird exemplarisch auf drei Ansätze genauer eingegangen. Die Varianten „Ökotunnel“ und „Ökoschlucht“ können dabei auch unter der Bezeichnung „Ökodurchlass“ zusammengefasst werden (Horlacher und Carstensen 2007, S. 128).

3.1 Ökotunnel

Bei dem Ökotunnel handelt es sich um einen rohr- bzw. stollenförmigen Durchlass, der durch das geschlossene Bauwerk geführt wird.

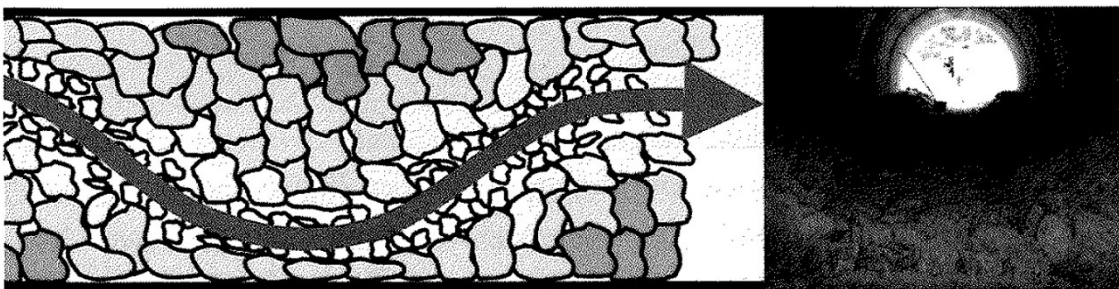


Abbildung 3-1: Ökotunnel (Horlacher und Carstensen 2007, S. 129)

Für eine gute aquatische Durchgängigkeit kann es vor allem bei langen Durchlässen erforderlich werden, den Ökotunnel zu beleuchten, um die Ausbildung von Algen als Nahrungsgrundlage für wandernde Lebewesen zu ermöglichen (Horlacher und Carstensen 2007, S. 129). Eine terrestrische Durchgängigkeit ist nicht gegeben.

3.2 Ökoschlucht

Man spricht von einer Ökoschlucht, wenn das Absperrbauwerk durch Stützwände unterbrochen und gehalten wird. Zwischen den Wänden entsteht eine „Schlucht“, in der meist eine Stauwand mit Auslässen angeordnet wird (Aigner 2008, S. 139; Ernst et al., S. 2).



Abbildung 3-2: Ökoschlucht am HRB Hornbach (Ernst et al., S. 1)

Bei dieser Variante kann der Gewässerverlauf einfach an die Durchlassöffnung angebunden werden. Der gute Lichteinfall ist ebenso positiv hervorzuheben. Die Ökoschlucht kommt überwiegend bei Dammhöhen bis zu 15 m zum Einsatz, also bei kleinen bis mittleren Hochwasserrückhaltebecken. Bei größeren Höhen wäre die Konstruktion aufwendig und unwirtschaftlich, verglichen bspw. mit dem „Ökotunnel“ (Horlacher und Carstensen 2007, S. 128–129).

3.3 Schwingklappe

Die Schwingklappe ist ein bewegliches Kontrollorgan, das in Abhängigkeit der zufließenden Wassermengen den Abfluss nach Unterwasser selbsttätig reguliert (Seidel et al. 2009, S. 23). Die Ideen zu diesem Konzept stammen aus den 90er Jahren und wurden im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsvorhabens der Universitäten Karlsruhe, Freiburg und Stuttgart wieder aufgegriffen (Seidel et al. 2009, S. 162). Die genaue Funktionsweise ist der Abbildung 3-3 zu entnehmen.

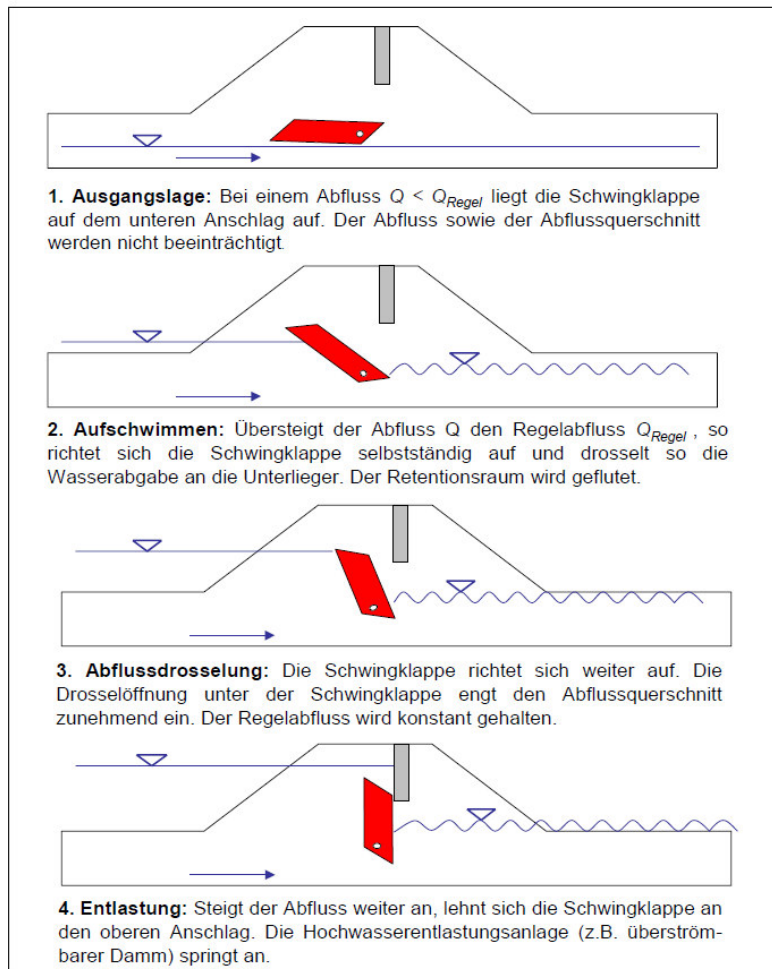


Abbildung 3-3: Funktionsweise der Schwingklappe (Seidel)

Durch die Freigabe eines großen Querschnittes im Normalfall ist eine gute aquatische sowie terrestrische Durchgängigkeit gegeben. Es besteht die Möglichkeit, Uferstrukturen aufrecht zu erhalten und der Lichteinfall ist bei geöffnetem Klappenzustand vorhanden (Ökologische Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken 2006, S. 39). Die Schwingklappe benötigt keine Antriebe und ist selbststeuernd, weshalb die Kosten für Bau- und Betrieb erwartungsgemäß gering ausfallen (Seidel et al. 2009, S. 162). Allerdings geht eine Anwendung der Schwingklappe nicht nur mit Vorteilen einher. So beeinflusst der Unterwasserstand den Regulierungsvorgang der Klappe, was eine genaue Bemessung des Kontrollorganes schwierig macht. Auf Grund noch zu vieler unbekannter Faktoren werden einem flächendeckenden Einsatz dieser Technik bei HRB zurzeit geringe Chancen zugeschrieben. Als potenzielles Anwendungsgebiet gehen die Empfehlungen vor allem hin zu einem abflussregelnden Einsatz bei Fischtreppen, Kleinwasserkraftanlagen oder kommunalen Abwassersystemen (Seidel et al. 2009, S. 165–166).

4 Das Konzept der weit geöffneten Durchlässe

Die Aufgabe bestand in der Entwicklung eines Konzeptes, bei dem das Absperrbauwerk im Normalfall weit offen gestaltet ist. Im Hochwasserfall hingegen müssen die Öffnungen geschlossen sein. Das Konzept soll dabei für kleine bis mittlere HRB ausgelegt werden. Die Größe des Gesamtraumes beläuft sich auf 50.000 – 1.000.000 m³, die Höhe des Absperrbauwerkes bewegt sich zwischen 4 – 15 m (vgl. Abbildung 2-1). Als Verschlusskörper für Höhen dieser Größenordnung kommen Schleusentore in Frage. So weist beispielsweise die Tennessee-Schleuse „Wilson“ in den USA eine Torkonstruktionshöhe am Unterhaupt von 36,12 m auf (Kuhn 1985, S. 222). Schleusentore können also die erforderlichen Höhen der Absperrbauwerke technisch bedienen. Eine Auswahl verschiedener Torverschlüsse mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen ist Abbildung 4-1 zu entnehmen.


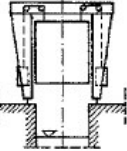
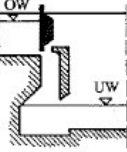
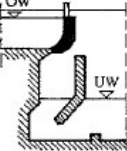
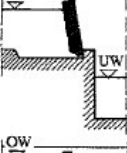
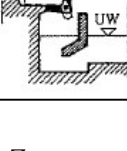
Lfd. Nr. Tortyp	Vorteile	Nachteile
1) 	Stemmtor – Robust, einfach im Betrieb – Günstige Beanspruchung – Niedriges Gewicht	– Empfindlich gegen Setzungen – Reparaturen umständlich – 2 Antriebe notwendig – Kann nur bei ausgespiegeltem Wasserstand bewegt werden
2) 	Hubtor – Kehrt doppelseitig – Leichte Wartung – Kurze Häupter – Große Breiten möglich – Zum Füllen/Entleeren geeignet	– Großer Stahlverbrauch – Komplizierte Antriebs-elemente, Gleichlaufsicherung erforderlich – Hohe Aufbauten
3) 	Hub-Senktor – Gute Energieumwandlung – Kurze Häupter – Keine hohen Aufbauten – Leichte Instandhaltung durch Herausnehmen	– Wie (2) – In Staustellung wird das Eigengewicht an Hubwerke abgegeben – Komplizierte Dichtung – Hoher Dremmel erforderlich
4) 	Senktor – Wie (3)	– Wie (3)
5) 	Klapptor – Einseitiger Antrieb – Geringe Höhe	– Sohldichtung ständig unter Wasser – Nicht zum Füllen geeignet – Erschwerte Torunterhaltung
6) 	Haken-Klapptor – Wie (5) – Zum Füllen gut geeignet, gute Energieumwandlung	– Komplizierte Sohldichtung – Erschwerte Torunterhaltung

Abbildung 4-1: Zusammenfassende Bewertung der wesentlichen Torverschlüsse (Schröder und Römisch 2001, S. 276)

Hubtore haben wegen ihrer hohen Aufbauten einen beachtlichen Einfluss auf das Landschaftsbild (Schröder und Römisch 2001, S. 273) und konnten deshalb schnell ausgeschlossen werden. Senktore, Hub-Senktore und Schiebetore sind mit hohem konstruktivem Aufwand und daher auch mit höheren Kosten verbunden (Schröder und Römisch 2001, S. 276; Partenscky 1986, S. 157). Der Einsatz eines Klapptores würde die Durchgängigkeit des Gewässers stark beeinflussen und wurde daher nicht weiter betrachtet. Folglich sind Stemmtore für den Einsatz am interessantesten. Zwar können diese Tore nur bedingt gegen Wasser bewegt werden (Lecher 2015, S. 842), dies sollte allerdings in dem entwickelten Konzept nur von geringer Bedeutung sein, weil die Tore bei Erreichen eines bestimmten Abflusses im Gerinne bereits ausschwenken, bevor es zu einem

Einstau im Becken kommen kann. Somit wird es sich nicht um große Wassermengen handeln, gegen die das Tor bewegt werden muss. Ferner bewegen sich die Tore im Schließvorgang mit der Fließrichtung des Gewässers, sodass sich dessen Strömung ggf. sogar unterstützend auf den Vorgang auswirken könnte. Neben den in Abbildung 4-1 bereits genannten Vorteilen kommen noch weitere Punkte hinzu. So sind bei Stemmtoren die Material- und Unterhaltungskosten im Vergleich zu den anderen Toren geringer (Kuhn 1985, S. 222). Außerdem lassen sich die Tore rasch öffnen und schließen (Lattermann 2010, S. 59), wodurch die Möglichkeit gegeben ist, auch auf kurzfristige Hochwasserereignisse schnell zu reagieren.

Zu Beginn der Bearbeitung kam die Überlegung auf, anstelle eines Stemmtores ein einflügeliges Drehtor bzw. Flügeltor zu verwenden.

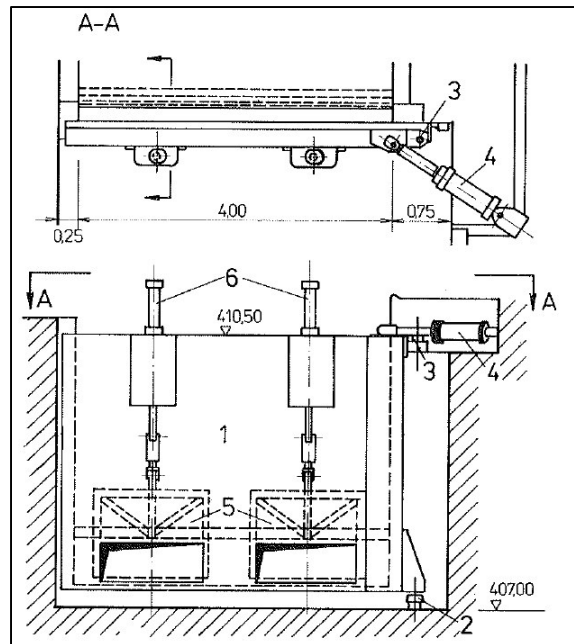


Abbildung 4-2: Flügeltor als Obertor der Bootsschleuse Schwenningen/Donau ; 1 Stauwand, 2 Spurlager, 3 Halslager, 4 hydraulischer Torantrieb, 5 Füllschütz, 6 hydraulischer Schützenantrieb (Kuhn 1985, S. 257)

Dies hätte den Vorteil, nur noch ein anstatt zwei Tore mit einem Antrieb versorgen zu müssen. Allerdings ginge der Einsatz eines Flügeltores auch mit Nachteilen einher. Sie benötigen größere Tornischen als Stemmtore und kommen generell nur bei Schleusen geringer Breite (Vergleich: Bootsschleusen) zum Einsatz (Kuhn 1985, S. 256). Des Weiteren hat sich die Technik der Stemmtore im Bereich der Schleusen bewährt und

findet häufiger Anwendung im Vergleich zu den Flügeltoren (Partenscky 1986, S. 134). Der Einsatz von Stemmtoren wird daher favorisiert.

4.1 Favorisiertes System

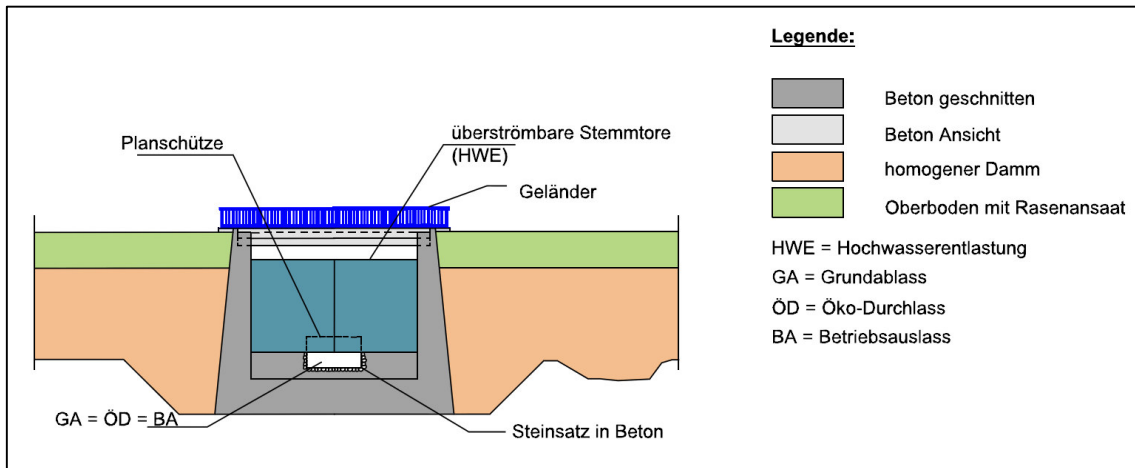


Abbildung 4-3: Schnitt durch Absperrbauwerk in wasserseitiger Böschung (Stemmtore geschlossen)

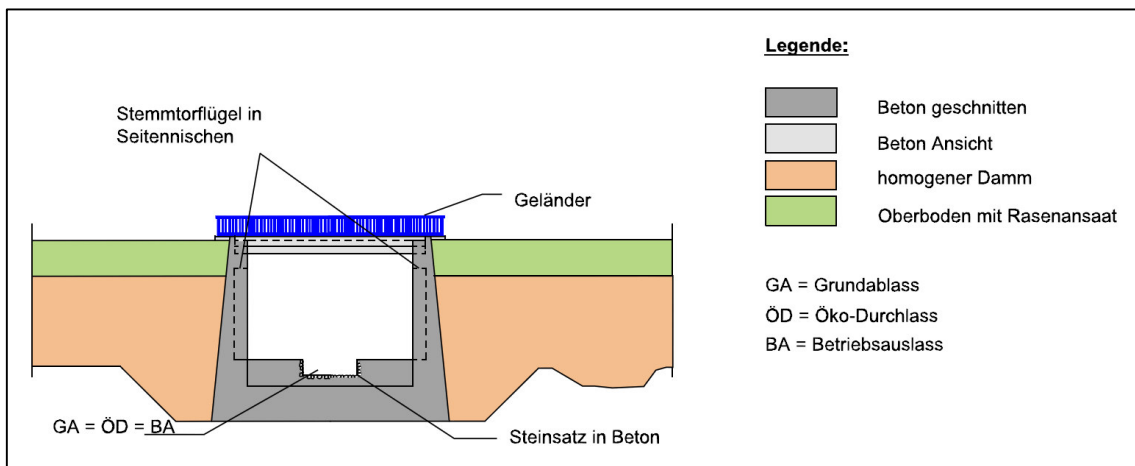


Abbildung 4-4: Schnitt durch Absperrbauwerk in wasserseitiger Böschung (Stemmtore geöffnet)

Wie in Abbildung 4-3 und Abbildung 4-4 zu erkennen ist, besteht das Durchlassbauwerk aus Beton. Der natürliche Gewässerquerschnitt wird an den vorgegebenen Durchlass angepasst, der je nach Projekt entsprechend dimensioniert werden muss. Zum Schutz vor Erosion wird er mit gewässertypischem Sohlsubstrat oder Wasserbausteinen befestigt. An den Ufern ist es entscheidend, dass die Stemmtore exakt schließen können und zum Beispiel keine Steine den Schließvorgang der Tore behindern. Rechts und links des Gewässers ist Freiraum, um die terrestrische Durchgängigkeit zu ermöglichen. Es können zum Beispiel gewässerbegleitende Wegestrukturen beibehalten und durch

das Absperrbauwerk hindurchgeführt werden. Die beiden Torflügel des Stemmtores stützen sich im geschlossenen Zustand unter einem Winkel von $\alpha \approx 20^\circ$ aneinander ab (Partensky 1986, S. 134).

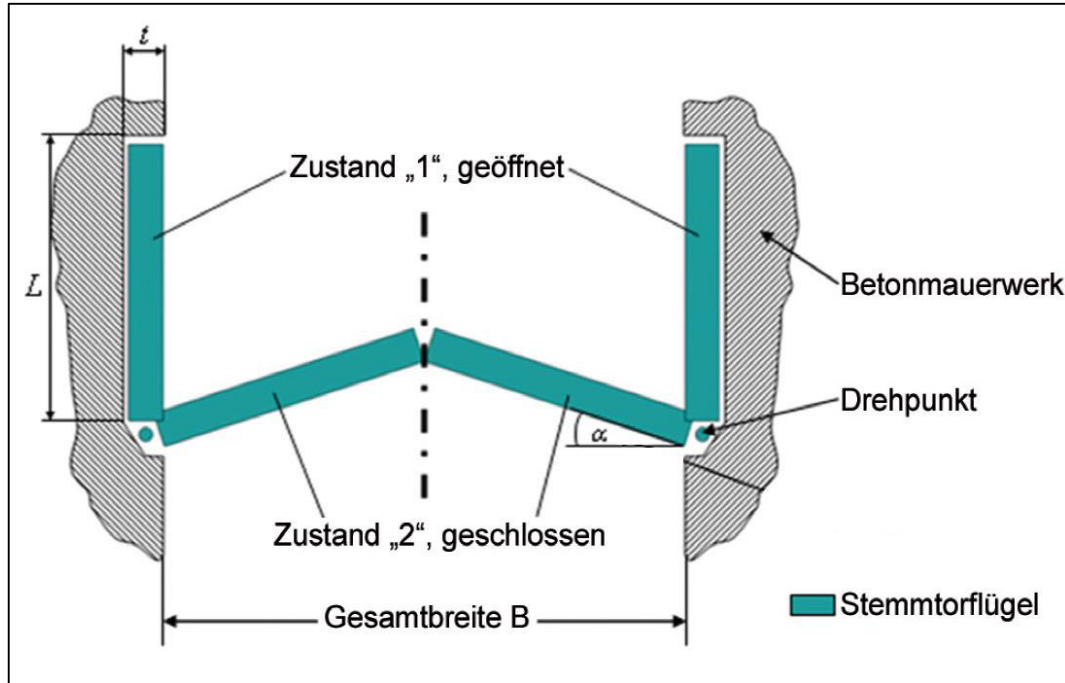


Abbildung 4-5: Draufsicht Stemmtore (Bundesanstalt für Wasserbau 2011, S. 41)

Die Tore benötigen jeweils Nischen als Platz für die Stemmtorflügel im geöffneten Zustand (Schröder und Römisch 2001, S. 271). Antrieb und Verstellen der Stemmtore erfolgt über Hydraulikzylinder, so wie es auch bei den meisten Schleusen angewandt wird (Haberhauer 2014, S. 21). Durch das vorgegebene Gewässerbett sind Grundablass, Ökologischer Durchlass und Betriebsauslass vereint. Am Fuße der beiden Stemmtore soll darüber hinaus je ein hydraulisch angetriebenes Planschütz angebracht werden. Damit ist die Möglichkeit gegeben, den Abfluss im Gewässerbett bei Bedarf entsprechend zu regulieren. Ein Planschütz besteht aus einer beweglichen, senkrechten Stauwand. Je nach Öffnungshöhe des Durchlasses stellen sich unterschiedliche Abflusszustände ein (Freimann 2013, S. 66–70). Gemäß den Erfahrungen des Ingenieurbüros ARCADIS wäre der Einsatz einer anderen Schützart (z.B. Rollenschütz, Segmenteschütz) mit erhöhtem konstruktivem Aufwand verbunden und wurde daher nicht näher betrachtet.

Es soll sichergestellt sein, dass die Regelabgabe im Freispiegel ablaufen kann, während unter verschiedenen Einstauverhältnissen ein bestimmter maximaler Abfluss abführbar ist (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013d, S. 4). Die Bemessung wird mit den Formeln für den Ausfluss unter Schützen durchgeführt (vgl. Bollrich 2000, S. 380–386). Laut der DIN 19700-12 sind bei Betriebs- und Grundablässen von Hochwasserrückhaltebecken keine zwei hintereinander liegenden und unabhängig voneinander bedienbaren Verschlüsse notwendig (DIN 19700-12, S. 9). Da das hier vorgestellte Konzept für Trockenbecken (grüne Becken) konzipiert ist, welche nicht dauerhaft eingestaut werden, wird dieser Empfehlung nachgegangen. Die Hochwasserentlastung soll über die geschlossenen Stemmtore erfolgen. Dabei sollte in Erwägung gezogen werden, die Oberkanten (OK) der Tore strömungsgünstig auszubilden und somit Einfluss auf die Überfallmenge zu nehmen. Die konkrete Ausbildung ist projektabhängig. Die Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage kann mit der Überfallformel nach Poleni ermittelt werden (vgl. Bollrich 2000, S. 400–417).

Zur Drosselung der Zuflüsse und Erzwingen eines Fließwechsels von schießendem zu strömendem Abfluss (Wechselsprung) ist i.d.R. eine Energieumwandlungsanlage bei HWEA und an den Ausläufen der Betriebs- und Grundablässe notwendig. Die Energieumwandlungsanlage kann dabei unterschiedlich ausgestaltet werden, beispielsweise als Tosbecken, Tosmulde oder Toskammer (DIN 19700-11, S. 46). Hier soll der Wechselsprung gehalten werden und es findet eine Umwandlung der kinetischen Energie des anströmenden Wassers in Wärme- und Schallenergie statt, um eine Beschädigung des Bauwerks oder des nachfolgenden Gerinnes zu vermeiden (Lecher 2015, S. 640). Die Energieumwandlungsanlage soll dabei eine schadensfreie Abführung aller Abflüsse bis zum BHQ_1 ermöglichen, während bei Abflüssen bis BHQ_2 lediglich die „Tragsicherheit des Absperrbauwerkes“ gewährleistet sein muss (DIN 19700-11, S. 46).

Um die Stemmtore und die Planschütze schließen bzw. steuern zu können, ist eine Stromzuführung erforderlich. Die jeweiligen technischen Einrichtungen müssen sich in einem Gebäude befinden, das gut belüftet und vor Überflutungen geschützt ist (Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW 2007, S. 39). Die Auslösung der Stemmtore soll automatisch erfolgen. Details hierzu und wie auf kurzfristige Hochwasserereignisse reagiert werden kann, sind Kapitel 5.3 zu entnehmen. Für eine erste Näherung kann die Schließgeschwindigkeit von Stemmtoren mit 60 bis

90 Sekunden angesetzt werden. Ein genauer Wert ist abhängig von der Motorstärke und Antriebsleistung der Hydraulikzylinder. Die jeweilige Auslegung erfolgt projektspezifisch (Dehnert 1954, S. 81). Gerade bei gesteuerten HRB sind die Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit der elektrischen Anlagen von zentraler Bedeutung. Daher sollten neben der Netzversorgung ein fahrbares Notstromaggregat sowie eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV-Anlage) vorhanden sein, die im Falle eines Netzausfalls die Stromversorgung sicherstellen. Die Stemmtore und Planschütze arbeiten automatisch. Allerdings sollen alle automatisch betriebenen Verschlussorgane zusätzlich mit einem manuellen Antrieb versehen werden, sodass sie im Notfall auch „von Hand“ bewegt werden können. Bei Problemen mit der Netzversorgung oder einem Stromausfall soll der Notbetrieb so ausgerichtet sein, dass die Stemmtore schließen und die Planschütze den Durchfluss im Grund- bzw. Betriebsauslass auf die Abgabe des Regelabflusses begrenzen. Das HRB funktioniert dann als ungesteuertes Becken und erfüllt die Anforderung gemäß der „Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken“ (Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW 2007, S. 39–40).

4.2 Funktionsweise

Zentrale Voraussetzung für die Gewährleistung der Hochwassersicherheit von HRB mit beweglichen Verschlüssen ist die Zuverlässigkeit der Technik im Ernstfall. So muss das hier vorgestellte Konzept der weit geöffneten Durchlässe auf Hochwasserereignisse auch kurzfristig reagieren können. Um dies sicherzustellen, müssen Messstellen sowohl vor als auch nach dem Absperrbauwerk vorhanden sein. Anhand von Wasserstandsmessungen im Gewässer im Bereich oberhalb des geplanten Hochwasserrückhaltebeckens lassen sich Rückschlüsse auf die Zuflüsse ziehen. Sobald der Zufluss des Gewässers einen bestimmten kritischen Wert erreicht, soll ein Signal an die Steuereinrichtung des HRB übertragen werden. Zudem werden die lokale Feuerwehr sowie der Beckenbetreiber informiert. Die Stemmtore schließen nun automatisch und Planschütze begrenzen den Gewässerquerschnitt des Grund- und Betriebsauslasses soweit, dass das Bauwerk nur eine definierte Regelabgabe an den Unterlauf abgibt. Dabei ist es entscheidend, dass sich die Messstelle in einem angemessenen Abstand zum HRB befindet und somit eine ausreichende Hochwasser Vorwarnzeit gegeben ist. Der Schließvorgang sollte durch

akustische und optische Signale (Warnleuchten) am Bauwerk kenntlich gemacht werden. Führen Wege durch das Absperrbauwerk, so ist zu überlegen, inwieweit die Steuerung der Stemmtore gegenüber weiteren Risiken ausgelegt sein sollte. Als Beispiele können hierbei ein Aufprallschutz vor Fahrzeugen oder ein automatisches Anhalten der Tore bei Hindernissen im Schließbereich genannt werden. Auf die Details muss im Rahmen der weiterführenden Planungsphasen eingegangen werden. Im Falle einer erfolgreichen Schließung der Stemmtore erfolgt eine zweite Benachrichtigung an Feuerwehr und Beckenbetreiber. Bleibt diese aus, so muss die Feuerwehr ausrücken. Eine weitere Messstelle in kurzer Entfernung stromab des Absperrbauwerkes kontrolliert die Abflussverhältnisse unterhalb des HRB. Auch die zweite Messstelle gibt der Steuereinrichtung eine Rückmeldung über den aktuellen Stand, sodass sich die Verschlussorgane ggf. noch nachträglich verstellen können. Da Stemmtore im Vergleich zu anderen Tor-systemen schnell bewegt werden können, unterstützt dies zudem ein kurzfristiges Reagieren im Ernstfall (Lattermann 2010, S. 59). Bei Auslösung des Schließvorganges der Tore ist die zusätzliche Fernalarmierung der Feuerwehr in jedem Fall nötig. Sollte der automatische Antrieb der Steuereinrichtungen versagen, so können diese dann immer noch manuell geschlossen werden. Außerdem kann eingegriffen werden, falls sich Hindernisse im Schließbereich befinden.

Zum Schutz der Anlage vor grobem Geschwemmsel ist eine Treibgutsperre z.B. aus Einzelpfählen erforderlich. Die Pfähle sollen dabei nach Empfehlungen des Leitfadens zur „Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern“ im Bereich der Stauwurzel und ggf. vor dem Absperrbauwerk errichtet werden (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2006, S. 12). Generell empfiehlt das Merkblatt DWA-M 522 einen lichten Abstand von max. 0,5 m einzuhalten und Stahlbetonpfählen oder Stahlträgern wegen ihrer Langlebigkeit den Vorzug vor Holzpfählen zu geben. Der Einsatz von Holzpfählen bedarf einer regelmäßigen Kontrolle, um etwaige Schäden frühzeitig zu erkennen und handeln zu können (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2015, S. 34–35).



Abbildung 4-6: Beispiel einer Treibgutsperre aus Stahl am HRB Hornbach (Ernst et al., S. 2)

Je nach Projektregion und Rahmenbedingungen können aber auch andere Aspekte, wie z.B. die Einbindung in das Landschaftsbild, maßgebenden Einfluss auf die Entscheidung haben, sodass die Wahl des Materials letztendlich projektspezifisch erfolgen sollte.

Bei vielen Hochwasserrückhaltebecken wird zusätzlich ein Rechen unmittelbar am Betriebsbauwerk vor den Grund- und Betriebsauslässen angeordnet. Je nach Eigenschaften des Einzugsgebietes und Abmessungen der Durchlassöffnungen kann auf den Einsatz dieses Rechens auch verzichtet werden (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2006, S. 12). Betrachtet man das vorliegende Konzept, so wäre der Einsatz von Rechenstäben am Fuße der Stemmtore eher als kontraproduktiv zu bewerten, da sie die ökologische Durchgängigkeit zu stark behindern könnten. Ohne Rechenstäbe kann das Treibgut entweder durch den offenen Gewässerquerschnitt entweichen oder es staut sich an der Wasseroberfläche vor dem Stemmtor auf. Da die Aufgabe eines Hochwasserrückhaltebeckens in dem Schutz der Unterlieger vor Hochwasser und den damit

verbundenen Gefahren und nicht primär in dem Schutz vor Geschwemmsel liegt, wird bei dem hier vorgestellten Konzept auf den Einsatz eines weiteren Rechens verzichtet.

5 Kosten-/ Nutzenanalyse an einem Projektbeispiel

Um die Realisierbarkeit des entwickelten Konzeptes zu überprüfen und Stärken und Schwächen zu identifizieren, erfolgt in diesem Kapitel eine Kosten-/ Nutzenanalyse an dem Projektbeispiel des Hochwasserrückhaltebeckens Lahnemühle / Bracht. Im ersten Schritt werden dabei die Verhältnisse im Projektgebiet und die Situation vor Ort geschildert. Die gemäß der Vorplanung bevorzugte Variante rückt danach in den Fokus der Betrachtungen, um im Anschluss auf eine Anwendung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe einzugehen. Dafür werden Bauwerksabmessungen sowie Baukosten ermittelt und die beiden Varianten unter Einbeziehung weiterer Gesichtspunkte miteinander verglichen. Die zur Durchführung dieser Schritte benötigten Informationen wurden vom Ingenieurbüro ARCADIS bereitgestellt. In diesem Projekt übernimmt das Ingenieurbüro Aufgaben der Projektsteuerung und Beratung. Die Angaben zum Projektgebiet und der aktuellen Planung entstammen dem Bericht zur Vorplanung des Hochwasserrückhaltebeckens Lahnemühle / Bracht, dessen Nutzung im Rahmen dieser Bachelorarbeit mit freundlicher Genehmigung des Wasserverbandes Kinzig (Herr Scheffler) zugestimmt wurde.

5.1 Projektgebiet

Das nachfolgend betrachtete Hochwasserrückhaltebecken Lahnemühle ist im Tal des Gewässers Bracht, im Bereich des südlichen Vogelsbergs gelegen. Die Bracht stellt zusammen mit dem Gewässer Salz einen wesentlichen Zufluss für die Kinzig dar, in die sie bei Wächtersbach mündet (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 9). Da Hochwasserereignisse in der Vergangenheit zum Teil erhebliche Schäden in der Region in Industrie- als auch Siedlungsgebieten verursachten, strebt der Wasserverband Kinzig eine Verbesserung des Hochwasserrückhaltes an. Dies soll durch den Bau von Hochwasserrückhaltebecken realisiert werden, die im Hauptschluss des Gewässers liegen. Die HRB Bad Soden/ Salz und Lahnemühle/ Bracht sollen dabei in Verbindung mit der Kinzigtalsperre bei Steinau an der Straße sowie gemeinsam mit örtlichen gewässerbaulichen Maßnahmen den Schutz der Unterlieger vor einem HQ_{100} garantieren. Zudem ist eine Reduktion der Abflussspitze am Pegel Gelnhausen an der Kinzig gewünscht (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 6–7). Das Hochwasserrückhaltebecken Lahnemühle soll ökologisch durchgängig sein. Es weist ein Ein-

zugsgebiet von 19,7 km² auf (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 11). Es ist im Bereich südlich der Ortslage Kirchbracht und nördlich des Einzelanwesens Lahnemühle als Trockenbecken bzw. „grünes Becken“ geplant. Der Abstand Dammachse-Bebauung Lahnemühle beläuft sich auf ungefähr 150 m (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 9, 30). Die genaue Lage ist Abbildung 5-1 zu entnehmen. Die Stauwurzel des Hochwasserrückhaltebeckens liegt bei Bracht-km 21+350, der Stauraum hat folglich eine Ausdehnung von knapp 1 km (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 30).

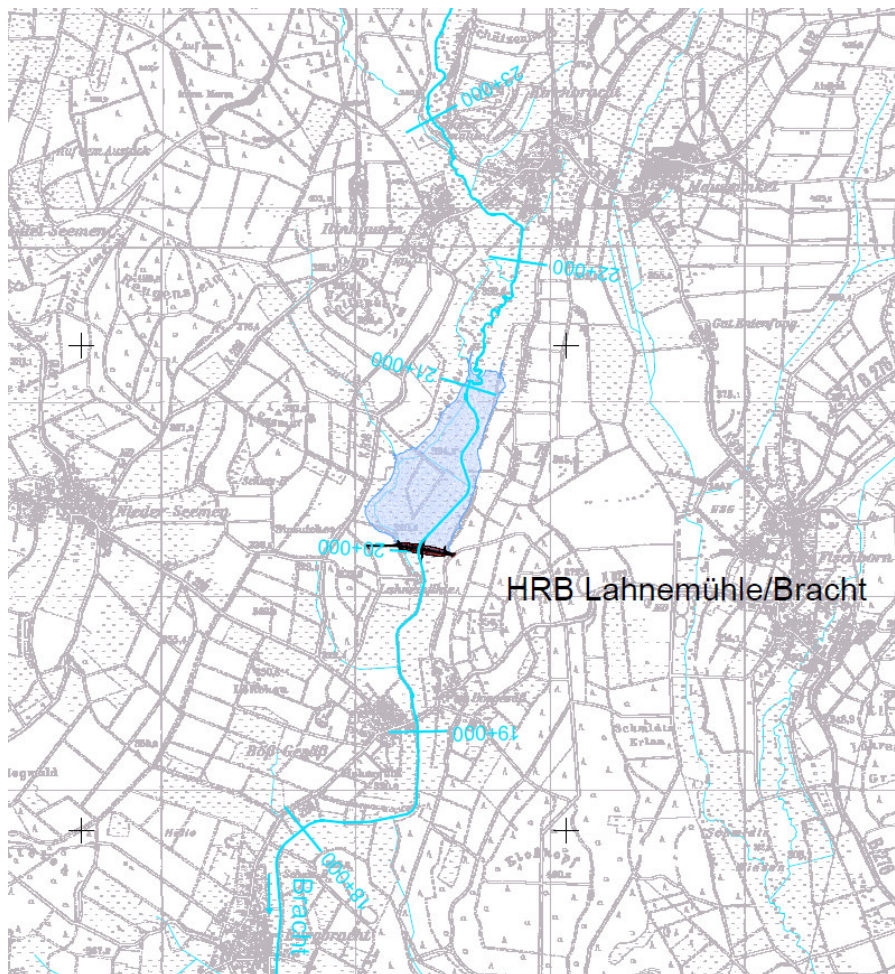


Abbildung 5-1: Lage des HRB Lahnemühle / Bracht (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 10)



Abbildung 5-2: Standort des geplanten Absperrbauwerkes (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013a, S. 2)

5.2 Vorplanung

Im Rahmen des Projektes wurde von der Arbeitsgemeinschaft Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft GmbH – Fugro Consult GmbH eine Vorplanung erstellt. Im folgenden Abschnitt soll dabei auf die wesentlichen Aspekte eingegangen werden. Die Informationen sind dem Bericht zur Vorplanung sowie seinen Anlagen entnommen worden.

Zu Beginn wurden insgesamt drei unterschiedliche Varianten einer Beckengestaltung entwickelt, deren Kennwerte in Tabelle 5-1 dargestellt sind.

Tabelle 5-1: Kennwerte der Varianten der Vorplanung (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 23)

Variante	1	2	3
Speicherinhalt [m³]	818.000	200.000	574.000
Vollstauziel Z_V [m NHN]	325,86	323,30	325,00
Drosselabfluss [m³/s]	0,9	6,5	2,35

Variante 2 schied auf Grund der schwachen Rückhaltewirkung des Beckens infolge des großen Drosselabflusses und geringen Stauvolumens frühzeitig aus. Variante 1 wurde letztlich der Vorrang vor Variante 3 erteilt, da die Hochwassergefahr unterhalb des HRB durch den geringen Drosselabfluss von 0,9 m³/s entscheidender verringert wird und das geringfügig höhere Stauziel nur mit vernachlässigbar größeren Eingriffen in den Naturhaushalt verknüpft ist.

Bei der im Rahmen der Vorplanung bevorzugten Variante wird der Dammkörper homogen ausgebildet, wobei ein dichtender Baustoff mit niedrigerem Durchlässigkeitsbeiwert ($k_f \leq 10^{-7}$ m/s) zum Einsatz kommt. Bei einer maximalen Höhe von 8,10 m über der Sohle des Gewässers und einer Gründung im Talbereich in 0,50 m Tiefe, bezogen auf die Geländeoberkante, ergibt sich eine maximale Höhe des Absperrbauwerkes von 8,60 m. Gemäß DIN 19700-12 ist das HRB folglich als mittleres Becken zu klassifizieren. Tabelle 5-2 fasst die relevanten Angaben zum Dammkörper zusammen.

Tabelle 5-2: Angaben zum Dammkörper (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 27)

Variante	Kronenhöhe in m NHN/ bezogen auf Gewässersohle/ im Durchschnitt	Länge Absperrbauwerk	Flächeninanspruchnahme Dammaufstandsfläche	gewöhnlicher Hochwasserrück- halteraum I_{GHR}
1	327,40 m NHN 8,10 m 6,50 m	325 m	10.400 m²	818.000 m³

Die Neigung des Damms beträgt zur Wasser- und zur Luftseite 1:3. Auf der Dammkrone wird ein Betriebsweg der Breite von 5 m angelegt, der mittels einer Brücke über die Betriebseinrichtungen geführt wird. Die Betriebseinrichtungen sind in der hier vorliegenden Planung alle in einem Massivbauwerk untergebracht. Es handelt sich folglich um ein Komplexbauwerk, das als „Öko-Schlucht“ ausgeführt wird. Zu den Betriebsein-

richtungen zählen Grundablass, Betriebsauslass, Hochwasserentlastungsanlage sowie Energieumwandlungsanlage.

Betriebsauslass und Grundablass sind separat voneinander angeordnet. Wie dem Anhang A 3.0 zu entnehmen ist, ist der Grundablass in der Mitte des Gerinnes gelegen. Er dient zugleich auch als Öko-Durchlass (ÖD). Seine Abmessungen betragen $b \times h = 3,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$. Rechts und links des Grundablasses befindet sich je ein Betriebsauslass auf den seitlichen Bermen gelegen. Beide haben dieselben Abmessungen ($b \times h = 0,90 \text{ m} \times 0,90 \text{ m}$). Grundablass und Betriebsauslässe sollen automatisch mittels eines Rollschützes gesteuert werden. Gemäß einem Variantenvergleich wird der Einsatz eines elektrohydraulischen Antriebes empfohlen. Angelehnt an den Bachlauf des Gewässers wird das Gerinne mit einem Gefälle von 3,9 ‰ ausgeführt. Der Bemessung der Betriebsauslässe lag die Voraussetzung zu Grunde, dass die Regelabgabe Q_R im Freispiegel abfließen können soll, während gleichzeitig im Hochwasserbemessungsfall die Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden kann. Gemäß den Planungen soll die Sohle gewässertypisch befestigt werden. Zum Schutz vor Verklauung sind Dalben aus Wildholz im Bereich vor der Öko-Schlucht vorgesehen, die grobes Treibgut zurückhalten sollen. Bei kleineren Frachten, die die Sperre passieren können, kommt es nicht zu einer signifikanten Beeinträchtigung der Abflussverhältnisse am HRB. Um ebenso der terrestrischen Durchgängigkeit des Absperrbauwerkes gerecht zu werden, wird in der Planung auf einen Rechen vor Grundablass und Betriebsauslass verzichtet.

Die Krone der Stauwand ist überströmbar ausgebildet und stellt einen festen Überfall dar. Sobald ein Abfluss größer als $BHQ_3 (= 13,1 \text{ m}^3/\text{s})$ auftritt und der Wasserstand im Hochwasserrückhaltebecken die Kronenhöhe der Stauwand übersteigt, springt die Hochwasserentlastungsanlage an. Auf Grundlage der Vorbemessungen wurde eine Überfalllänge von 9,40 m gewählt. Die Krone der Stauwand ist „halbkreisförmig ausgerundet“ (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 24), wodurch sich ein Überfallbeiwert von $\mu = 0,65$ bis 0,73 ergibt (vgl. Schröder 1999, S. 198). Auf die Bemessung der Energieumwandlungsanlage soll erst in den weiterführenden Planungsphasen eingegangen werden. Aus ökologischen Gründen wird jedoch eine Ausbildung als Tosmulde empfohlen.

Das Absperrbauwerk gibt Abflüsse der Bracht bis zu dem Wert von $Q_R = 0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ungedrosselt an das Unterwasser ab. Übersteigt der Zufluss diesen Wert, so kommt es zu einem Einstau und der Grundablass wird mit einem beweglichen Planschütz geschlossen. Ein Austragen des vorhandenen Sohlsubstrates wird somit verhindert. Über die beiden Betriebsauslässe wird weiterhin ein Wert von $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ an die Unterlieger weitergegeben. Ab Erreichen der Wehrkrone wird die HWEA in Anspruch genommen. Im HWBF 1 ($BHQ_1 = 21,7 \text{ m}^3/\text{s}$) werden die Betriebsauslässe so gesteuert, dass sie ab dem Zeitpunkt, an dem die HWEA anspringt, einen Abfluss von $8,00 \text{ m}^3/\text{s}$ abgeben. Der Rest des zufließenden Wassers wird über die HWEA abgeführt. Im HWBF 2 ($BHQ_2 = 31,3 \text{ m}^3/\text{s}$) wird, sobald der Wasserstand die Wehrkrone übersteigt, der Grundablass zusätzlich geöffnet. Somit werden dann alle Auslässe zur Hochwasserentlastung herangezogen. Auch die Hochwasserentlastungsanlage wird weiterhin in Anspruch genommen. Die sich dabei ergebenden Abflusswerte bei verschiedenen Wasserständen und Zuflüssen sind der Anlage 6 des Berichtes zur Vorplanung zu entnehmen.

5.3 Anwendung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe

Basierend auf dem in Kapitel 4 vorgestellten Konzept der weit geöffneten Durchlässe wurde eine Alternative zur bereits bestehenden Vorplanung des Hochwasserrückhaltebeckens Lahnemühle / Bracht erarbeitet. Der Bericht der Arbeitsgemeinschaft „Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft GmbH – Fugro Consult GmbH“ zur Vorplanung diene dabei als Grundlage. Die Anwendung des Konzeptes hat eine Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit des Hochwasserrückhaltebeckens zum Ziel. Die Festlegungen und Gegebenheiten gemäß der Vorplanung bleiben größtenteils bestehen und sind im Bericht zur Vorplanung nachzulesen. Bei der Bemessung der Betriebseinrichtungen (Grundablass, Ökologischer Durchlass, Betriebsauslass, Hochwasserentlastungsanlage) ergeben sich jedoch Unterschiede. Auf die Details sowie die damit einhergehenden Auswirkungen auf die Gestaltung des HRB soll nachfolgend eingegangen werden. Die zugehörigen Berechnungen sind dem Anhang A 4 zu entnehmen. Anhang A 3.1 zeigt einen Schnitt durch das Absperrbauwerk in wasserseitiger Böschung.

Etwa 2,5 km oberhalb des geplanten Bauwerkes befindet sich ein „Hochwasserwarnpegel“ an der Brücke Illnhausen - Kirchbracht (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 12). Dieser soll soweit ausgestattet werden, dass er den Zufluss misst

und bei einem Wert von 0,9 m³/s ein Signal an die Steuereinrichtung des HRB überträgt, sodass die Stemmtore in Bewegung versetzt werden. Der Wert von 0,9 m³/s entspricht dabei der bevorzugten Regelabgabe gemäß der Vorplanung (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 30). Gleichzeitig werden die lokale Feuerwehr und der Beckenbetreiber informiert. Die sich im näheren Umkreis des Hochwasserrückhaltebeckens befindlichen Freiwilligen Feuerwehren sind zusammen mit ihren jeweiligen Anfahrsstrecken und -zeiten in Tabelle 5-3 dargestellt. Die Werte basieren auf Angaben von Google Maps und wurden zuletzt am 31.10.2015 überprüft. Bei erfolgreicher Schließung der Stemmtore erhalten Feuerwehr und Beckenbetreiber eine weitere Benachrichtigung. Bleibt diese aus, so muss die Feuerwehr ausrücken und die Situation vor Ort prüfen.

Tabelle 5-3: Freiwillige Feuerwehren im Umkreis des HRB Lahnmühle / Bracht

Ort	Anfahrtsstrecke [km]	Anfahrtszeit [min]
Bös-Gesäß	1,2	3
Nieder-Seemen	2,4	4
Illnhausen	2,2	3
Kirchbracht	2,9	5
Mauswinkel	3,9	6
Fischborn	2,4	5

Es ist zu erkennen, dass die Freiwillige Feuerwehr in Bös-Gesäß den kürzesten Anfahrtsweg zum HRB hat und somit schnellstmöglich reagieren kann. Bei Problemen oder Einsatzverzögerungen können weitere Feuerwehren hinzugezogen werden oder ersatzweise einspringen. Entsprechend der Tabelle 5-3 kommen hierfür v.a. die Niederlassungen in Illnhausen und Nieder-Seemen in Frage. In dem Anhang A 6.0 ist die Zeit, die von der Registrierung des Regelabflusses am Hochwasserwarnpegel bis zum Eintreffen am HRB vergeht, auf ungefähr 65 Minuten berechnet worden. Für die Stemmtore kann gemäß der Fachliteratur eine Schließzeit von 60 bis 90 Sekunden angesetzt werden (Dehnert 1954, S. 81). Sollte es zu Störungen im Schließvorgang kommen, so dürfte trotzdem noch ausreichend Zeit für die Feuerwehr vorhanden sein, um auszurücken und die Steuerungseinrichtungen händisch zu betätigen. Für den Fall, dass höhere Abflüsse als die geplante Regelabgabe von 0,9 m³/s das Absperrbauwerk passieren,

muss dies im Übrigen nicht gleich zu Ausuferungen und Folgeschäden für die Unterlieger führen. Aus den Abflusswerten alleine können nämlich keine direkten Rückschlüsse auf die jeweiligen flächenhaften Auswirkungen gezogen werden. (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013f, S. 9). So verhindert beispielsweise ein beidseitiger Geländeanstieg in Teilen des Oberlaufes der Bracht die negativen Auswirkungen einer Gewässerausufahrung (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013f, S. 3–4). Des Weiteren hätte im Rahmen der Vorplanung ebenso die Variante mit einer Regelabgabe von 2,35 m³/s umgesetzt werden können.

Ein zweiter Abflusspegel, unmittelbar unterhalb des HRB gelegen, überprüft die Abflussverhältnisse und gibt der Steuereinrichtung eine Rückmeldung. Sollte die Hochwasserwarnung an der Brücke Illnhausen-Kirchbracht im Ernstfall ausfallen, so kann eine Alarmierung der Feuerwehr ebenso durch den zweiten Pegel ausgelöst werden. Die Alarmierung der Feuerwehr wird als alternativlos gesehen, da andernfalls aus Revisionsgründen ein zweites Tor erforderlich wäre. Diese Option ist allerdings konstruktiv aufwendig und mit erhöhten stahlwasserbaulichen Kosten verbunden (vgl. Anhang A 5.0).

5.3.1 Bemessung Grundablass, Ökologischer Durchlass und Betriebsauslass

Grundablass, Ökologischer Durchlass und Betriebsauslass sind in dieser Planungsvariante in einem Durchlass zusammengefasst. Die Abmessung des Durchlasses wird mit 4 m x 0,9 m gewählt (vgl. Anhang A 3.1). Das Gewässerbett für den Bach im Bereich des Durchlassbauwerkes wird somit vorgegeben. Die Ermittlung des bordvollen Abflusses erfolgt mit der Formel nach Gauckler-Manning-Strickler (vgl. Lecher 2015, S. 244–246). Die Leistungsfähigkeit des Durchlasses wird mit den Ansätzen zur Berechnung des Ausflusses unter Schützen berechnet (vgl. Bollrich 2000, S. 380–386). Maßgebend für die Dimensionierung des Durchlasses sind folgende Szenarien, deren Anforderungen erfüllt werden müssen.

a) Szenario 1: bordvoller Abfluss

Der bordvolle Abfluss muss größer/ gleich dem Regelabfluss $Q_R = 0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ sein, damit auch bei Schließung der Stemmtore die Möglichkeit gegeben ist, die Regelabgabe durch den vorgegebenen Gewässerquerschnitt des Absperrbauwerkes zu führen. Gemäß Anhang A 4.0 beträgt der bordvolle Abfluss 3,76 m³/s. Um

die Regelabgabe bei $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ zu halten und dies auch im Einstaufall des Beckens zu gewährleisten, müssen bewegliche Planschütze den Durchlass entsprechend automatisch regulieren.

b) Szenario 2: Wasserstand bei OK Stauwand

Erreicht der Wasserstand im Becken die Oberkante der geschlossenen Stemmtore, soll der Durchlass so reguliert werden, dass mindestens $8 \text{ m}^3/\text{s}$ unter Einhaltung der (n-1)-Regel abgeführt werden. Die Regel besagt, dass bei Vorhandensein mehrerer beweglicher Verschlüsse, derjenige, mit der größten Abfuhrleistung außer Acht gelassen werden soll (Strobl und Zunic 2006, S. 141–142). Im konkreten Fall wird angenommen, dass eines der beiden Planschütze der geschlossenen Stemmtore die halbe Fläche der Durchlassöffnung blockiert. Gemäß Anhang A 4.0 stellt sich bei halber Durchlassöffnung ein Abfluss von $11,68 \text{ m}^3/\text{s}$ ein.

c) Szenario 3: Wasserstand bei Z_{H1}

Im Falle des HWBF 1 muss der Durchlass ebenso mindestens einen Abfluss von $8 \text{ m}^3/\text{s}$ unter Einhaltung der (n-1)-Regel abführen können. Unter der Annahme, dass nur die halbe Durchlassöffnung zur Verfügung steht, ergibt sich bei einem Wasserstand von $Z_{H1} = 326,19 \text{ m NHN}$ ein Abfluss von $11,99 \text{ m}^3/\text{s}$. Das Kriterium wird demnach erfüllt.

d) Szenario 4: Wasserstand bei Z_{H2}

Im Falle des HWBF 2 soll der Durchlass mindestens einen Abfluss von $22,90 \text{ m}^3/\text{s}$ abführen können. Dieser Wert entstammt der Retentionsberechnung der Variante 1 für ein Regenereignis der Dauer von 18 h und stellt den Maximalwert dar, den BA und GA der Variante 1 gemäß der Vorplanung abführen sollen (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013d, S. 8). Da im HWBF 2 der (n-1)-Regel nicht nachgegangen werden muss (DIN 19700-11, S. 9), kann hierfür die volle Fläche des Durchlasses angesetzt werden. Damit ergibt sich ein Abflusswert von $24,15 \text{ m}^3/\text{s}$. Die gestellten Anforderungen werden also erfüllt.

In allen Szenarien kann der Durchlass die erforderliche Leistungsfähigkeit vorweisen. Dadurch wird sichergestellt, dass der entworfene Querschnitt des Gewässerbetts dieselben Abflüsse abführen kann wie Grundablass und Betriebsauslass in der bevorzugten

Variante der Vorplanung (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013d, S. 8). Die Regulierungsorgane der Betriebseinrichtungen müssen dazu entsprechend bewegt werden.

5.3.2 Gestaltung der Uferbereiche

Neben dem vorgegebenen Gewässerbett soll auf beiden Uferseiten ausreichend Platz für die Durchführung eines Weges vorhanden sein. Grundlage für die Bemessung der Wegebreite ist das Arbeitsblatt DWA-A 904 „Richtlinien für den ländlichen Wegebau“ (2005) bzw. „Richtlinien für die Anlage und Dimensionierung Ländlicher Wege (RLW)“ (2014). Der Anhang A 4.1 zeigt die Unterteilung eines ländlichen Weges in seine Komponenten sowie die möglichen Entwurfparameter für die Wegekronen. Gemäß dem Bericht zur Vorplanung des HRB Lahnemühle handelt es sich bei den vom Bauvorhaben betroffenen Straßen und Wegen jeweils um Wander- und Feldwege bzw. Wirtschaftswege (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 19–20). In Anlehnung an die örtlichen Gegebenheiten soll der Uferbereich demnach für Feldwege – Wirtschaftswege ausgelegt werden. Gemäß Anhang A 4.1 werden der Fahrstreifen mit 3 m und die Seitenstreifen mit je 0,5 m bemessen. Die Breite der Wegekronen beläuft sich somit auf 4 m. Für den Seitenraum werden zu beiden Seiten des Gewässers nochmal 0,5 m angesetzt, sodass die Wegebreite insgesamt 5 m beträgt.

5.3.3 Gestaltung der Stemmtore

Die Wegebreiten von 5 m zu beiden Seiten des Gewässers ergeben in Verbindung mit der Breite der Durchlassöffnung von 4 m eine Dammöffnung von insgesamt 14 m. Da sich Stemmtore im geschlossenen Zustand unter einem Winkel von $\alpha \approx 20^\circ$ aneinander abstützen (Partenscky 1986, S. 134), erhält man eine erforderliche Länge pro Torflügel von 7,45 m. Die Abmessung eines Stemmtorflügels beläuft sich demnach auf die Maße Länge x Höhe von 7,45 m x 5,27 m. Die durchschnittliche Dicke von Stemmtoren dieser Dimension bewegt sich in Abhängigkeit der projektspezifischen Gegebenheiten in einem Rahmen von 0,5 – 1,2 m¹.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den generellen Aufbau von Stemmtoren aus unterschiedlichen Ansichten. Der Stemmtorflügel besteht aus dem Torgerüst sowie ei-

¹ Gemäß Auskunft der Stahlwasserbaufirmen „ROBERT NYBLAD GmbH“ und „Sibau Genthin GmbH & Co. KG“ im November 2015

ner wasserdichten Torhaut. Sind die Torträger vertikal angeordnet, spricht man von Ständern (Ständertore), bei einer horizontalen Anordnung hingegen von Riegeln (Riegeltore). Letztere finden bevorzugt Anwendung (Schröder und Römisch 2001, S. 269–270).

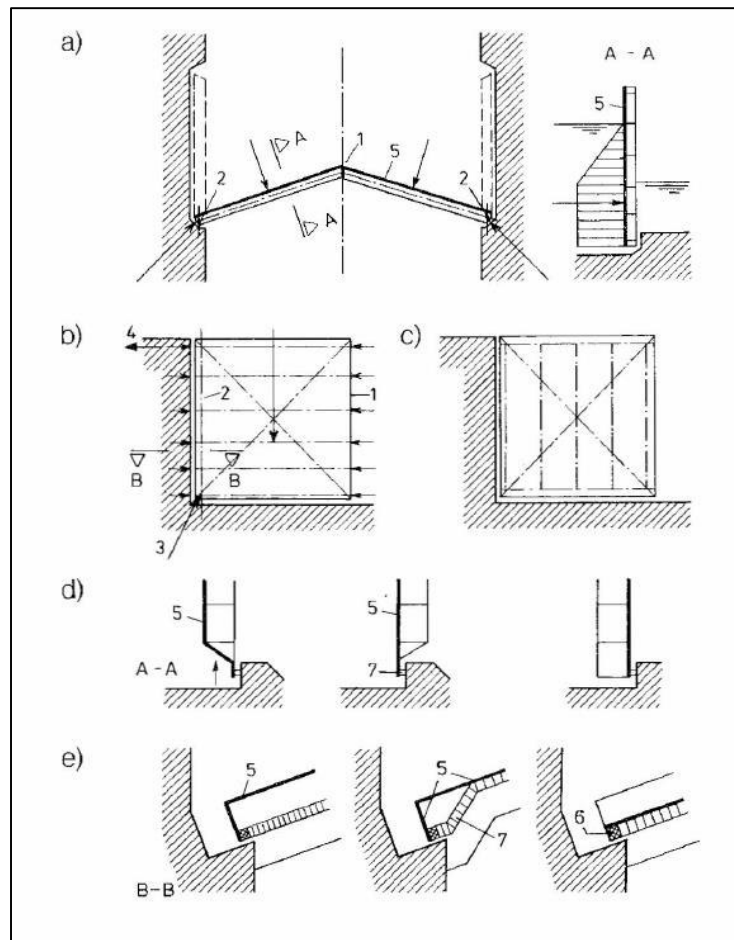


Abbildung 5-3: Elemente des Stemmtores. a.) Grundriß, b.) Riegeltor, c.) Ständertor, d.) Varianten der Stauwandanordnung, e.) Varianten der Dichtungsanordnung, 1 Schlagsäule, 2 Wendesäule, 3 Spurlager, 4 Halslager, 5 Stauwand, 6 Wendesäulendichtung, 7 Drempeldichtung

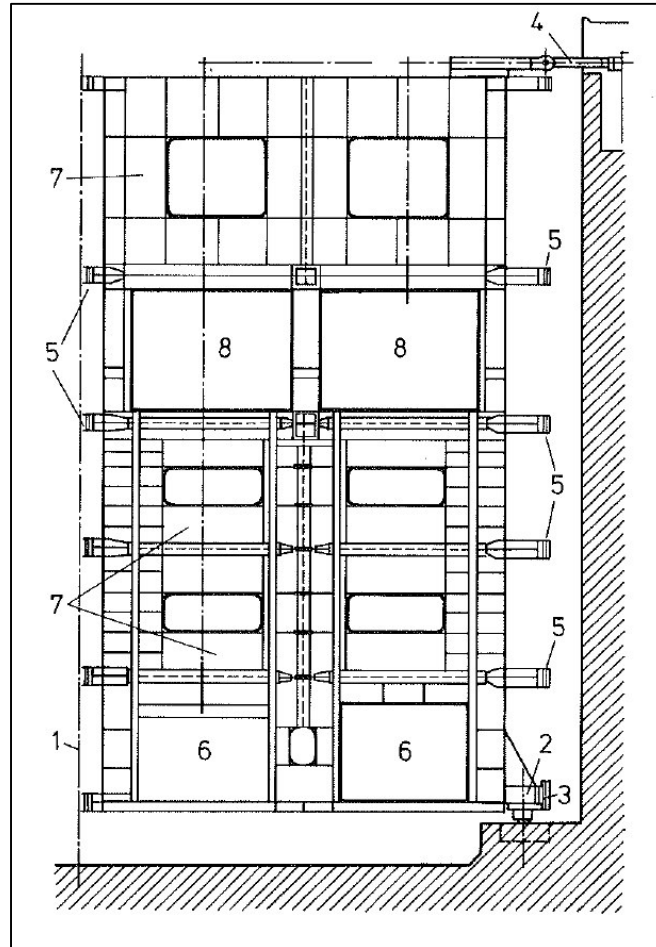


Abbildung 5-4: Stemmtor am Unterhaupt der Donau-Schleuse Regensburg , Stauwand oberstromig, Ansicht von unterstrom. 1 Schlagsäule, 2 Wendesäule, 3 Spurlager, 4 Halslager, 5 Stemmknaggen, 6 Entleerungsschütz, 7 unterstromige Versteifungsblechwand, 8 Öffnung zur Schützmontage (Kuhn 1985, S. 224)

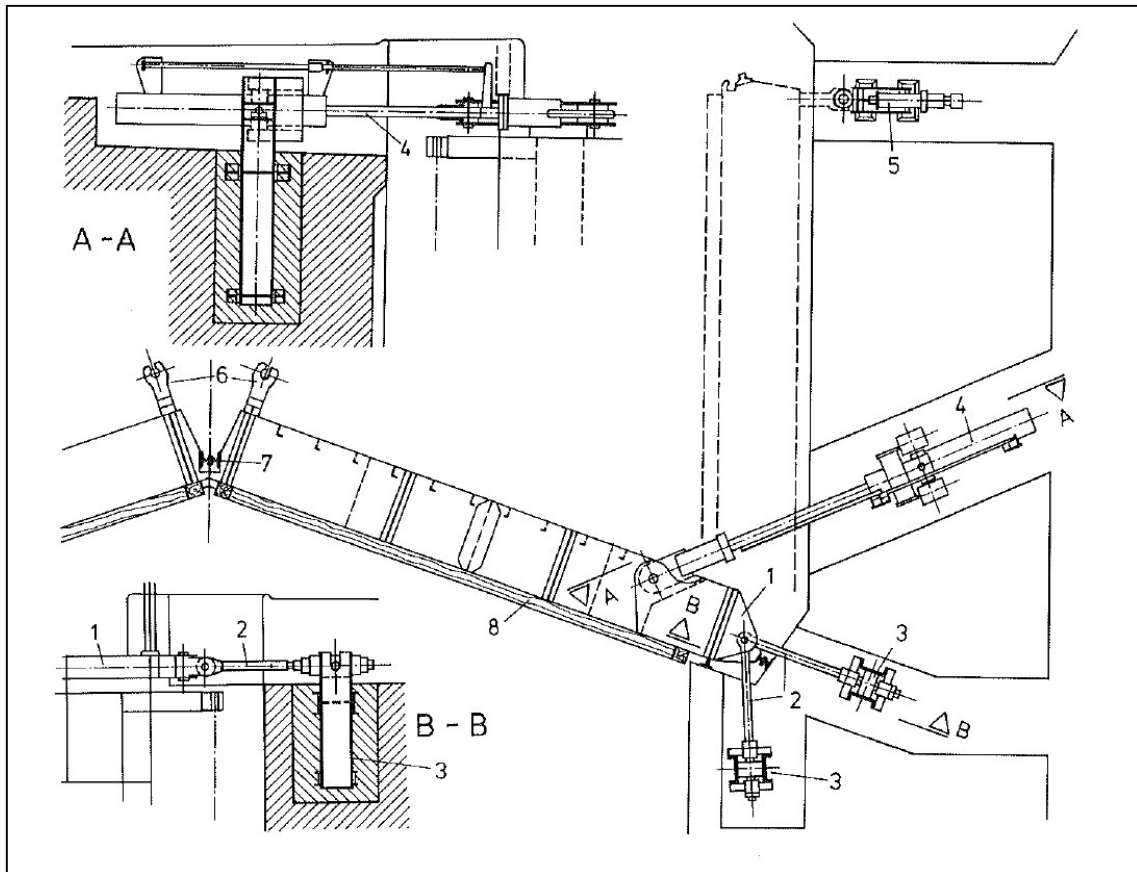


Abbildung 5-5: Halslager und hydraulischer Antrieb des Stemmtores am Unterhaupt der Donau-Schleuse Regensburg. 1 Halslager, 2 Halslagerstange, 3 Verankerung im Tiefbau, 4 hydraulischer Antrieb, 5 Torverriegelung, 6 Verriegelungsklaue, 7 Schlagsäule, 8 Reibholz (Kuhn 1985, S. 225)

Spurlager an der Sohle nehmen die Kräfte infolge des Eigengewichtes des Stemmtorflügels auf. Horizontale Kräfte werden in das oberhalb gelegene Halslager sowie das Spurlager abgegeben (Partenscky 1986, S. 134). Um die auf die Stemmtore wirkenden Kräfte in die Wand abzutragen, werden Stemmnaggen an der Wendesäule sowie der Wand angeordnet (Schröder und Römisch 2001, S. 270). Stemmnaggen sind ebenso an der Schlagsäule zu finden. Sie dienen dort zur Abstützung der horizontalen Torträgerelemente (Partenscky 1986, S. 136).

Der Antrieb der Tore erfolgt über Hydraulikzylinder, die am oberen Rand der Torflügel angreifen. Pro Stemmtorflügel kommt ein Antrieb zum Einsatz. Um einen möglichst großen Querschnitt freizugeben, werden die Stemmtore im geöffneten Zustand in die vorhandenen Nischen in den Seitenwänden verschwenkt. Dort werden sie befestigt, damit sie bei der Abführung von Hochwasser nicht in Bewegung versetzt werden

(Schröder und Römisch 2001, S. 271). Des Weiteren ist eine Dichtung der Stemmtore von besonderer Bedeutung. Sie erfolgt sowohl an den Seitenwänden als auch an der Sohle (Partenscky 1986, S. 133). Die Dichtung an der Schlagsäule wird durch die Schließung der Stemmtorflügel und den auf die Tore wirkenden Wasserdruck festgedrückt (Kuhn 1985, S. 226).

5.3.4 Hochwasserentlastung

Die Stemmtore sollen im Hochwasserfall überströmt werden. Dadurch ergibt sich eine Überfallbreite von $2 \times 7,45 \text{ m} = 14,90 \text{ m}$ (Vergleich Vorplanung: Überfallbreite = 9,40 m). Die Berechnung des Abflusses über die HWEA erfolgt mit der Überfallformel nach Poleni für einen vollkommenen Überfall (vgl. Bollrich 2000, S. 400–417). Auf Grund der örtlichen Gegebenheiten kann ausgeschlossen werden, dass unterhalb des HRB ein Wasserstand eintreten wird, der den Überfall über die Stemmtore unvollkommen ausbilden würde. Die Berechnungen zum Wehrüberfall sind dem Anhang A 4.2 zu entnehmen. Demnach ergibt sich bei einem Wasserstand $Z_{H1} = 326,19 \text{ m NHN}$ ein Abfluss von $5,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Beträgt der Wasserstand $Z_{H2} = 326,28 \text{ m NHN}$, ergibt sich ein Abfluss von $7,19 \text{ m}^3/\text{s}$. Beide Werte übertreffen damit die Abflüsse der HWEA gemäß Variante 1 der Vorplanung für die besagten Wasserstände. Die Wasserstände Z_{H1} und Z_{H2} werden also bei Umsetzung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe etwas niedriger liegen als dies für die Variante 1 der Vorplanung eingetragen ist, da mehr Wasser über die HWEA abfließen kann. Die Absenkung der jeweiligen Wasserstände wurde in Anhang A 4.2 näherungsweise berechnet. Es ergibt sich für das BHQ_1 eine Absenkung von Z_{H1} um $\Delta h_{\bar{U}} = 0,07 \text{ m}$ auf $326,12 \text{ m NHN}$. Für den BHQ_2 beträgt die Absenkung $\Delta h_{\bar{U}} = 0,09 \text{ m}$, Z_{H2} ergibt sich demnach zu $326,19 \text{ m NHN}$. Details sind der Anlage zu entnehmen. Die Reduktion der Wasserstände im HRB ermöglicht eine Verringerung der Dammkronenhöhe, vorausgesetzt die jeweiligen Freibordhöhen bleiben gleich. Dadurch können Kosten für den Dammbau eingespart werden. Das Einsparpotenzial beläuft sich laut Anhang A 5.1 auf 18.660 € , was gemessen an den gesamten Baukosten relativ gering ist.

5.4 Kostenschätzung

Die Abschätzung der Baukosten spielt bei der Bewertung des Konzeptes eine entscheidende Rolle und wird in diesem Abschnitt separat betrachtet. Grundlage hierfür ist die

Kostenschätzung der Vorplanung (Stand 07/2013) sowie Auskünfte der Stahlwasserbaufirmen „ROBERT NYBLAD GmbH“ und „Sibau Genthin GmbH & Co. KG“ im November 2015. In Anhang A 5.0 sind die Kosten der Vorplanung den Kosten einer Anwendung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe gegenübergestellt. Unterteilt nach den einzelnen Arbeitseinheiten (vorbereitende Maßnahmen, Damm, etc.) wurden jeweils Teilsummen ermittelt, die zum Schluss zu einer Gesamtsumme aufaddiert sind. Die einzelnen Kosten gehen entweder aus Erfahrungswerten der zuvor genannten Stahlwasserbaufirmen sowie des Ingenieurbüros ARCADIS hervor oder beruhen auf den Angaben der Vorplanung. Bei den Preisen der Vorplanung handelt es sich um Nettoangaben, basierend auf Einheitspreisen aus den Jahren 2011/2012. Die Kosten für die nachfolgend genannten Punkte sind dabei nicht berücksichtigt worden:

- Grunderwerb
- Mieten
- Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen
- Entschädigungen
- Baunebenkosten (z.B. Planungshonorare, Prüfgebühren, Gutachten, Stellungnahmen)
- indirekte Kosten (z.B. Bauzinsen)

Kosten für Renaturierung, Wegeanpassung etc. sind unter dem Punkt „Sonstige Leistungen“ zusammengefasst, die mit knapp 7 % der Gesamtsumme angesetzt werden. Als Kosten für die Baustelleneinrichtung wird von 10 % der Zwischensumme ausgegangen (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 68). Am Ende werden sowohl die Netto- als auch die Brutto-Baukosten angegeben.

Bei den „vorbereitenden Maßnahmen“ ergeben sich keine Änderungen im Vergleich zur Vorplanung. Auch die Maßnahmen zur Herstellung des Damms bleiben weitestgehend unberührt. Lediglich beim Punkt „Dammschüttung (homogen bindiges Material)“ ergibt sich eine Änderung. Wie in Anhang A 4.2 gezeigt, erlaubt die größere Überfallbreite der HWEA einen größeren Hochwasserabfluss, wodurch sich die Wasserspiegel im Hochwasserfall absenken. Daher besteht die Möglichkeit den Dammkörper um 7 cm herabzusetzen und dadurch Dammschüttungsmaterial einzusparen. Hiermit lässt sich eine Kosteneinsparung von etwa 18.660 € erzielen (vgl. Anhang A 5.1). Aus der größeren

Öffnung des Durchlassbauwerkes von 14 m (Vergleich Vorplanung: Durchlassbreite = 9,40 m) werden höhere Baukosten resultieren. In Anhang A 5.1 wurden daher für die einzelnen Maßnahmen Annahmen getroffen und die Baukosten aus der Vorplanung mit einem Faktor multipliziert. Somit soll den Mehrkosten Rechnung getragen werden. Details zu den Rechnungen sind der Anlage zu entnehmen. An den Summen der Energieumwandlungsanlage (Tosmulde) sowie denen der Nebenanlagen ändert sich durch die Anwendung des Konzeptes nichts. Im Gegensatz dazu steht der Bereich des Stahlwasserbaus. Während bei der Vorplanung lediglich drei Verschlusskörper erforderlich sind, ist der Aufwand bei einer Anwendung des Konzeptes deutlich größer. Nach Auskünften der Stahlwasserbauunternehmen bewegt sich ein Stemmtorflügel der in Abschnitt 5.3.3 genannten Abmessungen in einer Gewichtsklasse von 20 t. Für die Kostenangabe inklusive Antrieb, Einrichtung, Lieferung und kompletter Montage können 15 € pro kg Stahl angesetzt werden. Die Antriebstechnik hat dabei einen großen Anteil an den Kosten. Da die Abmessungen der erforderlichen Verschlusskörper (Planschütze) mit 2,00 m x 0,90 m zwischen denen der Verschlusskörper aus der Vorplanung liegen, wurde der Mittelwert der Stückpreise angesetzt. Insgesamt fallen damit die stahlwasserbaulichen Kosten im Konzept zehnmal so hoch aus wie in der Vorplanung. Bei der „Technischen Ausrüstung“ ergeben sich ebenfalls Kostenänderungen. Die Angaben sind unterteilt in Kosten für die „E-Technik“ (Elektrotechnik), „MSR-Technik“ (Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik) und die „messtechnische Bauwerksüberwachung“. Bei einer Anwendung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe ist die technische Ausrüstung aufwendiger als in der Vorplanung (vgl. Kapitel 5.2 und 5.3). Um den voraussichtlichen Mehrkosten Rechnung zu tragen, werden die Kosten für die MSR-Technik sowie E-Technik mit dem Faktor 1,3 multipliziert. Bei den Kosten für die messtechnische Bauwerksüberwachung werden sich voraussichtlich keine Änderungen ergeben. Die Tabelle 5-4 zeigt eine Gegenüberstellung der Netto-Baukosten der beiden Varianten.

Tabelle 5-4: Vergleich der Baukosten

Variante	Netto Baukosten in €
Ökoschlucht	2.260.000
Konzept der weit geöffneten Durchlässe	3.329.898
Δ Kosten in € (bzw. %)	1.069.898 (47,3%)

Es wird deutlich, dass das Konzept der weit geöffneten Durchlässe höhere Baukosten verursachen wird als die in der Vorplanung angestrebte Ausführung als Ökoschlucht. Dies ist vor allem auf die größeren Dimensionen des Durchlassbauwerkes und die höheren Aufwendungen im Bereich des Stahlwasserbaus sowie der Technischen Ausrüstung zurückzuführen. Es kann zwar eine Dammreduktion erreicht werden, die Einsparung von Kosten für die Dammschüttung fällt jedoch - verglichen mit den Gesamtkosten des Bauvorhabens - gering aus.

Im nächsten Schritt sollen daher weitere Aspekte betrachtet werden, um herauszufinden, inwieweit die höheren Kosten eventuell durch positive Effekte in anderen Bereichen aufgefangen werden können.

5.5 Weitere Vergleichsaspekte

Neben den reinen Baukosten für ein Vorhaben sollten zudem weitere, nicht monetäre Aspekte bei der Bewertung einer Variante Beachtung finden. Nachfolgend werden daher die erzielte Hochwasserschutzwirkung, ökologische Aspekte, der Flächenverbrauch, die Verkehrsdurchgängigkeit sowie die Eingriffe in das Landschaftsbild der Vorplanung als auch des Konzeptes untersucht und verglichen.

5.5.1 Hochwasserschutz

Hochwasserrückhaltebecken dienen in erster Linie dem Schutz vor Hochwasser. Daher kommt diesem Punkt die höchste Priorität zu. Sowohl Vorplanung als auch das Konzept sollen Schutz vor einem HQ₁₀₀ bieten. Details zu den Betriebsweisen sind den Kapiteln 5.2 und 5.3 zu entnehmen. Es existieren allerdings Unterschiede bei der Betriebssicherheit der beiden Planungen. Gemäß der Vorplanung ist eine Stauwand Teil des Durchlassbauwerkes. Falls im Versagensfall eine Verschlusskörpereinrichtung (z.B. Grundablass) ausfällt, so kann immer noch ein Großteil des ankommenden Hochwassers im Ernstfall von der Stauwand zurückgehalten werden. Das Konzept der weit geöffneten Durchlässe arbeitet mit Stemmtoren, an deren unteren Enden jeweils Planschütze zur Abflussregulierung installiert sind. Sollte im Ernstfall die Bewegung der Stemmtore z.B. durch Hindernisse im Schließbereich oder den Ausfall der Steuerung behindert sein, trifft das Hochwasser ungebrems auf die Unterlieger. Diese sind dann auf den Einsatz der Feuerwehr angewiesen. Deren Reaktions- und Eintreffzeit vor Ort bestimmt

maßgeblich den Schutz der Unterlieger vor den Wassermassen. Die Gewährleistung eines sicheren Hochwasserschutzes ist also von einigen Unbekannten abhängig. Hinzu kommt, dass ein Einsatz der Feuerwehr mit Kosten verbunden ist, die nach Anhang A 6.1 beziffert werden können. In Anhang A 6.2 wird beispielhaft ein zweistündiger Einsatz der Freiwilligen Feuerwehr Böß-Gesäß durchgespielt. Die Einsatzkosten belaufen sich im konkreten Beispiel auf ca. 330 €. Gemäß dem Bericht zur Vorplanung des HRB Lahnemühle erreicht die Bracht mehrmals im Jahr einen Abfluss von 0,5 m³/s und es wird vermutet, dass selbst Abflüsse > 0,9 m³/s mehrfach überschritten werden (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 31). Zwar basiert letztere Aussage nicht auf fundierten Tatsachen, trotzdem lässt sich hieraus annehmen, dass eine Alarmierung mehrfach im Jahr auftreten wird. Es wird ein zweites Signal an die Feuerwehr sowie den Beckenbetreiber bei erfolgreicher Schließung des Stemmtores gesendet. Bleibt dieses Signal aus, so muss die Feuerwehr ausrücken. Somit lassen sich die Einsatzkosten für die Feuerwehr auf ein Minimum reduzieren. Trotzdem ergeben sich bei der Umsetzung der Variante des Konzeptes höhere Betriebs- und Wartungskosten. Im Sinne eines verlässlichen aber möglichst kostengünstigen Hochwasserschutzes liegen die Vorteile daher eindeutig bei der Variante der Vorplanung („Ökoschlucht“).

5.5.2 Ökologie

Aquatische Durchgängigkeit

In Vorplanung und Konzept sind jeweils Durchlässe im Bauwerk für das Gewässer vorgesehen. Während in der Vorplanung Betriebsauslässe und Grundablass (= ökologischer Durchlass) getrennt sind, vereint ein Durchlass alle drei Komponenten nach dem Konzept der weit geöffneten Durchlässe. In der Vorplanung schließt der Grundablass ab Erreichen des Regelabflusses von 0,9 m³/s und die Regelabgabe wird über die Betriebsauslässe eingestellt. Bis zum Erreichen des kritischen Abflusswertes von 0,9 m³/s ist die aquatische Durchgängigkeit in beiden Planungen gegeben. Im Hochwasserfall tritt diese Anforderung in den Hintergrund, zumal sie für aquatische Organismen wegen der besonderen Abflussverhältnisse erschwert ist (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2006, S. 13).

Terrestrische Durchgängigkeit

In der Vorplanung ist die terrestrische Durchgängigkeit über die beiden Betriebsauslässe mit den Maßen 0,9 m x 0,9 m gegeben. Allerdings ist es somit nur Tieren bis zu dieser Größe möglich das Absperrbauwerk zu passieren (z.B. Fischotter). Größere Tiere oder Menschen müssen den Damm umgehen oder versuchen ihn zu überqueren (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 46). Im Hochwasserfall erliegt die landseitige Passierbarkeit komplett, da die Betriebsauslässe mit zur Hochwasserentlastung herangezogen werden.

Gemäß dem Konzept der weit geöffneten Durchlässe ist im Normalbetrieb zu beiden Seiten des Gewässers Platz für die Durchquerung des Absperrbauwerkes. Die terrestrische Durchgängigkeit ist somit für Mensch und Tier gegeben. Die Durchführung von Wegen kann es zudem auch Fahrzeugen möglich machen, den Abschnitt zu passieren. Genauer ist dem Punkt Verkehrsdurchgängigkeit zu entnehmen. Überschreitet der Abfluss der Bracht die Regelabgabe, so schließen die Stemmtore. Ein Passieren des Absperrbauwerkes ist dann nur noch aquatisch möglich.

Mikroklima

Als Mikroklima (Kleinklima) werden die klimatischen Verhältnisse in einem bestimmten, kleinräumigen Bereich bezeichnet (Klima Glossar - Mikroklima). Einen wichtigen Einfluss hierauf haben unter anderem die Kaltluftabflüsse. Bei windstillen Wetterbedingungen wandern kühle Luftmassen infolge ihres größeren Gewichtes in tiefer gelegene Regionen. Die kalten Luftmassen entstehen i.d.R. bei Nacht an lichten Hanglagen (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen - Kaltluftabflüsse).

Beim Einstau kommt es zu einer Beeinträchtigung des Mikroklimas in beiden Planungsvarianten (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013c, S. 9,22, 29). Bei der Variante der Vorplanung kommt hinzu, dass infolge der Ökoschlucht der Kaltluftaustausch zwar möglich, jedoch verglichen mit dem Konzept deutlich erschwert ist (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013c, S. 29). Bei der Anwendung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe sind die Stemmtore im Normalfall geöffnet.

Somit kann in hochwasserfreien Zeiten der Kaltluftaustausch stattfinden. Die Beeinflussung des Mikroklimas fällt daher geringer aus.

Zusammenfassung

Insgesamt ist die Umsetzung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe aus rein ökologischen Gesichtspunkten empfehlenswerter. Die im Normalfall geöffneten Stemmtore geben einen großen Querschnitt frei, der eine gute aquatische sowie terrestrische Durchgängigkeit zulässt, den Kaltluftaustausch ermöglicht und somit die Beeinflussung des Mikroklimas reduziert. Weitere Auswirkungen der Errichtung eines HRB auf die Ökologie des Standortes sind der Anlage 12 des Berichtes zur Vorplanung zu entnehmen (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013c). Es ergeben sich für die beiden Varianten keine anderen, wesentlichen Unterschiede.

5.5.3 Verkehrsdurchgängigkeit

Das Konzept der weit geöffneten Durchlässe bietet zu beiden Seiten des Gewässers die Möglichkeit, Wege zur Erhaltung der Verkehrsdurchgängigkeit durch das Absperrbauwerk zu führen und somit deren Verbindungsfunktion aufrecht zu erhalten. Diese Möglichkeit ist in der Variante der Vorplanung nicht gegeben. In dieser Hinsicht liegt der Vorteil bei der Anwendung des Konzeptes.

5.5.4 Flächenverbrauch

Die vom Bauvorhaben betroffenen Flächen unterscheiden sich sowohl in der Vorplanung als auch bei einer Anwendung des Konzeptes kaum. Durch die potenzielle Absenkung der Hochwasserstände bei einer Anwendung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe fällt die Staufläche zwar etwas geringer aus, allerdings wird dieser Punkt als vernachlässigbar angesehen. Da weite Teile der beiden Planungsvarianten identisch sind, ergibt sich auch kein signifikanter Unterschied im Flächenverbrauch.

5.5.5 Eingriffe in das Landschaftsbild

Die Auswirkungen des Bauvorhabens auf das Landschaftsbild werden in der Anlage 12 des Berichtes zur Vorplanung des HRB Lahnemühle betrachtet und unterscheiden sich für beide Planungen nicht. Es werden hier die relevanten Punkte kurz zusammengefasst. Das Bauwerk soll in die bestehenden landschaftlichen Gegebenheiten integriert werden (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013c, S. 35). Trotzdem verändern das

Absperrbauwerk und der zeitweise Einstau das lokale Erscheinungsbild. Hinzu kommen die temporäre Inanspruchnahme von Flächen für Baumaßnahmen und die damit einhergehenden Belastungen (Emission von Lärm und Schadstoffen). Das Konzept der weit geöffneten Durchlässe gibt im Normalfall einen großen Querschnitt frei, was vor allem aus ökologischen Gesichtspunkten positiv zu bewerten ist. Allerdings werden die zuvor genannten Aspekte auch hierbei auftreten, sodass die Eingriffe in das Landschaftsbild für beide Planungsvarianten als gleich angesehen werden.

6 Möglichkeiten und Grenzen des Konzeptes

In den vorherigen Abschnitten wurde eine Anwendung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe anhand verschiedener Bewertungskriterien der Variante „Ökoschlucht“ (gemäß Vorplanung) gegenübergestellt. Die Tabelle 6-1 fasst die Ergebnisse des Vergleiches zusammen und hebt die jeweiligen Vor- und Nachteile hervor. Zudem findet, basierend auf Aussagen des Berichtes zur Vorplanung für das Projektbeispiel Lahnemühle, eine Gewichtung der einzelnen Vergleichsaspekte statt, um die am besten geeignete Variante zu identifizieren. Aus der Tabelle 6-1 soll zudem eine unabhängig vom konkreten Projektbeispiel geltende Aussage abgeleitet werden, unter welchen Voraussetzungen eine Anwendung des Konzeptes sinnvoll erscheint und welche Charakteristika eine potenzielle Einsatzregion aufweisen könnte. Letztendlich handelt es sich jedoch hierbei nur um eine allgemeine Aussage. Die endgültige Auswahl einer Variante sollte immer Ergebnis einer projektspezifischen Einzelfallentscheidung sein.

Tabelle 6-1: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe im Vergleich mit der „Ökoschlucht“

Legende:		
Wertung	Projektbeispiel Lahnemühle	Allgemein
	[Punktevergabe]	[Zeichen]
Vorteil	3	+
ausgeglichen	2	0
Nachteil	1	-

Vergleichsaspekte	Projektbeispiel Lahnemühle			Allgemein	
	Gewichtungsfaktor	Variante		Variante	
		"Ökoschlucht" gemäß Vorplanung	Konzept der weit geöffneten Durchlässe	"Ökoschlucht" gemäß Vorplanung	Konzept der weit geöffneten Durchlässe
Baukosten	0,3	3	1	+	-
Hochwasserschutz	0,3	3	1	+	-
Ökologie	0,2	1	3	-	+
Verkehrsdurchgängigkeit	0	1	3	-	+
Flächenverbrauch	0,1	2	2	0	0
Eingriffe in das Landschaftsbild	0,1	2	2	0	0
Summe	1	2,4	1,6		

6.1 Projektbeispiel Lahnemühle

Um die für das Projektbeispiel geeignetere Variante zu identifizieren, wurde aus den Beschreibungen des Berichtes zur Vorplanung des HRB Lahnemühle eine Gewichtung der einzelnen Vergleichsaspekte abgeleitet. Auf die Details wird in diesem Abschnitt eingegangen.

6.1.1 Baukosten

Die Baukosten nehmen bei der Bewertung der Varianten eine zentrale Rolle ein, da sie einen wichtigen Einfluss darauf haben, ob eine Maßnahme überhaupt umgesetzt werden kann. Bereits im Bericht zur Vorplanung kommt ihnen daher bei der Ermittlung einer Vorzugsvariante die höchste Gewichtung zu (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 42, 75). Im konkreten Fall sollen die Baukosten mit 30 % bzw. Faktor 0,3 gewichtet werden.

6.1.2 Hochwasserschutz

Hochwasserrückhaltebecken werden zum Schutz vor Hochwasser errichtet. Als Reaktion auf zum Teil verheerende Hochwasserereignisse in der Vergangenheit wird eine Notwendigkeit von Rückhaltemaßnahmen an der Bracht gesehen (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 6). Eine zuverlässige Schutzwirkung im Ernstfall ist also von zentraler Bedeutung, weshalb dem Punkt des Hochwasserschutzes ebenso eine Gewichtung von 30 % bzw. Faktor 0,3 zugeordnet wird.

6.1.3 Ökologie

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie definiert das Ziel, einen „guten Zustand“ aller Gewässer bis zum Jahre 2015 zu erreichen. Die Sicherstellung der ökologischen Durchgängigkeit ist daher wichtiger Bestandteil der Vorplanungen zum HRB Lahnemühle und dort auch im Bericht per Aufgabenstellung festgeschrieben (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 46). Daher wird die Ökologie mit 20 % bzw. Faktor 0,2 im Rahmen der Vergleichsaspekte gewichtet.

6.1.4 Verkehrsdurchgängigkeit

Durch den Bau des Absperrbauwerkes kommt es zu einer geringfügigen Beeinträchtigung lokaler Wegestrukturen an den Randstellen des Absperrbauwerkes. Details hierzu sind dem Bericht zur Vorplanung zu entnehmen (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult

GmbH 2013h, S. 19–20). Im Projektgebiet existiert jedoch keine gewässerbegleitende Wegestruktur oder gar eine Notwendigkeit, Wege durch das Absperrbauwerk zu führen. Dementsprechend kommt der Verkehrsdurchgängigkeit eine Gewichtung von 0 % bzw. Faktor 0 zu, da sie im konkreten Projektbeispiel nicht erforderlich ist.

6.1.5 Flächenverbrauch

Der Standort des geplanten Hochwasserrückhaltebeckens Lahnemühle ist von landwirtschaftlich geprägten Flächen umgeben, denen keine Erholungsfunktion zugeschrieben ist. Die Eingriffe in das vorhandene Wegenetz fallen gering aus. Des Weiteren kommt es durch die Baumaßnahmen zu keinem Verlust von Flächen mit Wohn-, Industrie oder Gewerbefunktion (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013c, S. 15). Vor diesem Hintergrund wird der Flächenverbrauch bei der Gewichtung der Vergleichsaspekte nicht allzu stark berücksichtigt. Er erhält einen Gewichtungsanteil von 10 % bzw. Faktor 0,1.

6.1.6 Eingriffe in das Landschaftsbild

Die Baumaßnahme ist mit Eingriffen in das lokale Landschaftsbild verbunden. Das unmittelbare Umfeld der Lahnemühle wird verändert, allem voran die Sichtbeziehungen in nördliche Richtung (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013c, S. 15). Um die Qualität des Freiraumes zu erhalten, soll sich der Dammkörper möglichst in die lokalen Strukturen einfügen (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013c, S. 31). Mit zunehmendem Abstand zur Lahnemühle nimmt die Beeinflussung der Sichtbeziehungen talaufwärts ab, sodass keine großräumigen Veränderungen bestehen. Eine „Vorprüfung der Umweltverträglichkeit“ bewertet die Folgewirkungen daher als „nicht nachhaltig beeinträchtigend“. Auch die Effekte eines Hochwassereinstaus auf das Landschaftsbild fallen wegen des kurzzeitigen Auftretens nicht sonderlich ins Gewicht (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013c, S. 31–32). Infolgedessen wird der Aspekt „Eingriffe in das Landschaftsbild“ mit 10 % bzw. Faktor 0,1 gewichtet.

6.1.7 Ergebnis

Das Ergebnis der zuvor beschriebenen Gewichtungen der Vergleichsaspekte ist der Tabelle 6-1 zu entnehmen. Die Gesamtsumme der Variante „Ökoschlucht“ beläuft sich auf 2,4 Punkte, die der Anwendung des Konzeptes auf 1,6 Punkte. Die höhere Punktzahl

markiert die vorteilhaftere Variante. Demnach erweist sich im Projektbeispiel Lahnemühle die Umsetzung der „Ökoschlucht“ als geeigneter.

6.2 Allgemeine Betrachtung

Aus den Untersuchungen in Kapitel 5 und 6 geht hervor, dass das Konzept für eine großflächige Anwendung bei Hochwasserrückhaltebecken nicht per se geeignet ist. Verglichen mit bisherigen Ansätzen (vgl. Kapitel 3) ergibt sich ein erheblicher Mehraufwand im Bereich des Stahlwasserbaus und der Technischen Ausrüstung. Da die Stemmtore im Normalfall geöffnet sind und nur bei Hochwassergefahr schließen, kommt die aufwändige Antriebs- und Steuerungstechnik zudem nur sporadisch zum Einsatz. Es ist also fraglich, inwieweit dies im Verhältnis zu den hohen Kosten steht.

Gemäß der Tabelle 6-1 empfiehlt sich eine Anwendung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe dennoch in solchen Regionen, in denen das Konzept seine Vorteile ausspielen kann. Es müsste sich dabei um ein Projektgebiet handeln, bei dem die Prioritäten vor allem auf den ökologischen Aspekten liegen. Das Konzept ermöglicht zwar eine Verkehrsdurchgängigkeit des Absperrbauwerkes, dieser Punkt ist aber eher als zusätzlicher Pluspunkt zu verstehen. Die nachteiligen Aspekte im Bereich der Baukosten und des Hochwasserschutzes müssten außerdem in den Hintergrund treten. Denkbar als Einsatzgebiete sind zum Beispiel ökologisch sensible Regionen, in denen konventionelle Bauweisen von Hochwasserrückhaltebecken nicht genehmigt werden. Um dennoch einen Hochwasserrückhalt zu ermöglichen, kann eine Umsetzung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe hier durchaus interessant sein.

7 Zusammenstellung der offenen Fragen

Für eine Umsetzung und Weiterentwicklung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe ist es notwendig, die im Rahmen dieser Arbeit offen gebliebenen Fragen weiter zu untersuchen. Im Laufe der Bearbeitung haben sich vor allem zu nachfolgenden Punkten Fragestellungen ergeben:

- Überströmung der Stemmtore
- Anordnung der Hydraulikzylinder
- Elektrische Ausrüstung (MSR-Technik)
- Konstruktive Aspekte

7.1 Überströmung der Stemmtore

Übersteigt der Wasserstand im HRB die Höhe der geschlossenen Stemmtore im Hochwasserfall, so soll eine Entlastung über diese erfolgen (vgl. Kapitel 4.2). Eine Überströmung der Tore kann jedoch dazu führen, dass diese in Schwingung versetzt werden, was aus stahlwasserbaulicher Sicht als problematisch einzuschätzen ist. Daher empfiehlt sich eine strömungsgünstige Ausbildung der Überfallkanten der Stemmtore. Der Raum zwischen Überfallstrahl und Oberkante Stemmtore sollte zudem ausreichend belüftet sein. Bei kleinen Überfallhöhen können sogenannte „Strahlaufreißer“ angewendet werden, die den überströmenden Abfluss „zerteilen“. Bei größeren Überströmungshöhen muss eine Belüftung auf andere Art und Weise erreicht werden (Strobl und Zunic 2006, S. 155–156).



Abbildung 7-1: Strahlaufreißer (Strobl und Zunic 2006, S. 155)

Gegebenenfalls müssen die Auswirkungen einer Überströmung der Stemmtore durch wasserbauliche Modellversuche oder numerische Simulationen untersucht werden. Die zu beantwortenden Fragen lassen sich dabei wie folgt zusammenfassen:

- Kommt es bei einer Überströmung der Stemmtore zu Problemen infolge von Schwingungen?
- Durch welche Maßnahmen können die Schwingungen reduziert werden?

7.2 Anordnung der Hydraulikzylinder

Im Rahmen der Überlegungen zur Umsetzung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe stellte sich heraus, dass es bei der Anordnung der Hydraulikzylinder zu Problemen kommen kann. Bringt man die Antriebe, wie in Abbildung 5-5 dargestellt, nach herkömmlicher Bauweise oberwasserseitig an den Stemmtoren an, so werden die Zylinder bei entsprechend hohem Wasserstand im HRB unter Wasser stehen. Sie sind dann nicht mehr sichtbar. Auch Revisions- oder Reparaturmaßnahmen gestalten sich schwierig, da der Zugang zu den Hydraulikzylindern eingeschränkt ist. Im Sinne der Betriebssicherheit muss daher nachfolgende Frage beantwortet werden:

- Wie können die hydraulischen Antriebe der Stemmtore so angebracht werden, dass sie im Hochwasserfall möglichst nicht unter Wasser stehen?

7.3 Elektrische Ausrüstung

Die Funktionsweise des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe ist in Kapitel 4.2 nachzulesen. Da der Schwerpunkt der hier vorliegenden Arbeit auf der Entwicklung eines Konzeptes lag, wurde auf die maschinen- und elektrotechnische Ausstattung nicht detailliert eingegangen. Dies muss im Rahmen weiterführender Planungsphasen geschehen. Um einen verlässlichen Hochwasserschutz für die Unterlieger garantieren zu können, ist ein einwandfreier Betrieb der elektrischen Ausstattung unerlässlich. Sie stellt den Kernpunkt für ein Funktionieren des Konzeptes dar. Folgende Fragestellung ist daher im Rahmen weiterführender Bearbeitungsmaßnahmen zu klären:

- Wie kann die technische Ausrüstung und Steuerung im Detail aussehen, um die Funktionsweise des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe zu ermöglichen?

7.4 Konstruktive Aspekte

Die Beschreibungen im Rahmen des Konzeptes haben vorplanenden Charakter. Es handelt sich daher nicht um eine ausführungsreife Planung, sondern vielmehr um die Entwicklung und Untersuchung einer Idee zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken. Eine genaue Bemessung sowie konstruktive Gestaltung der Anlagenkomponenten ist Bestandteil weiterführender Planungsmaßnahmen und muss jeweils projektspezifisch erfolgen.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Arbeit war die Entwicklung und Überprüfung eines Konzeptes zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken. Die Betrachtungen konzentrierten sich dabei schwerpunktmäßig auf eine Realisierung von weit geöffneten Durchlässen. Das Konzept sollte auf ein reales Projektbeispiel angewandt werden, um eine konkrete Umsetzung zu durchdenken.

Die Hochwasserereignisse der letzten Jahre haben das Thema Hochwasserschutz wieder aktuell werden lassen und es wird erwartet, dass die Anzahl extremer Wetterereignisse z.B. in Form von Stark- und Dauerregen in Zukunft zunehmen wird (Umweltbundesamt 2008, S. 5, 7). Gleichzeitig kommt der ökologischen Durchgängigkeit von HRB eine immer größere Bedeutung zu, was den Anreiz schafft, neue, naturverträgliche Alternativen zu den konventionellen Bauweisen zu entwickeln.

Im ersten Schritt der Arbeit wurden grundlegende Aspekte sowie Anforderungen an Hochwasserrückhaltebecken aus technischen, ökologischen sowie sonstigen Gesichtspunkten zusammengetragen. Danach wurden exemplarisch mit dem „Ökotunnel“, der „Ökoschlucht“ sowie der „Schwingklappe“ bisherige Ansätze zur Optimierung der ökologischen Durchgängigkeit vorgestellt, die im weiteren Verlauf der Arbeit als Bezugspunkt dienten. In Kapitel 4 ist das erarbeitete Konzept der weit geöffneten Durchlässe dargestellt. Die Beschreibungen halten sich zunächst noch allgemein, bevor im nächsten Abschnitt ein konkreter Projektbezug hergestellt wird. Hierbei handelt es sich um die Vorplanung des Hochwasserrückhaltebeckens Lahnmühle an der Bracht im Main-Kinzig-Kreis. Nach einer kurzen Vorstellung des Projektgebietes und der bereits bestehenden Vorplanung wurde eine Anwendung des Konzeptes der weit geöffneten Durchlässe betrachtet und eine erste Vorbemessung einzelner Komponenten durchgeführt. Es wurden die geschätzten Kosten gemäß der Vorplanung einer Umsetzung des Konzeptes gegenübergestellt und weitere, nicht monetäre Vergleichsaspekte in die Betrachtung einbezogen. Die Kosten-/ Nutzenanalyse hat ergeben, dass eine Anwendung des Konzeptes gegenüber der Variante „Ökoschlucht“ aus der Vorplanung Vorteile im Bereich der ökologischen Durchgängigkeit sowie der Verkehrsdurchgängigkeit aufweisen kann. Dem stehen allerdings Nachteile in Form von erhöhten Baukosten sowie eines aufwändigeren Hochwasserschutzkonzeptes gegenüber. Was den Flächenverbrauch sowie die

Eingriffe in das Landschaftsbild angeht, ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in den beiden verglichenen Varianten. Da den Baukosten sowie einem zuverlässigen Konzept zum Hochwasserschutz im Projektbeispiel die höchsten Gewichtungen zukommen, empfiehlt sich hier eine Umsetzung der Variante gemäß der Vorplanung („Ökoschlucht“). So können die positiven Effekte im Bereich der ökologischen Durchgängigkeit bei Anwendung des Konzeptes den konstruktiven sowie betrieblichen Mehraufwand nicht ausgleichen. Die verbesserte Verkehrsdurchgängigkeit ist eher als Zusatzpunkt und weniger als ausschlaggebendes Kriterium zu verstehen. Außerdem kommt die aufwändige Antriebs- und Steuerungstechnik der Stemmtore nur gelegentlich im Falle eines Hochwasserereignisses zum Einsatz. Vor diesem Hintergrund wird dem Konzept der weit geöffneten Durchlässe generell kein großflächiges Anwendungsfeld bei Hochwasserrückhaltebecken zugeschrieben. Allerdings könnte ein Einsatz in ökologisch sensiblen Regionen, in denen konventionelle Systeme keine Chance zur Umsetzung haben, in Frage kommen. Um trotzdem einen Hochwasserrückhalt im Gebiet zu ermöglichen, könnten die ökologischen Vorteile infolge der Umsetzung des Konzeptes die erhöhten Baukosten sowie das aufwändigere Betriebskonzept rechtfertigen.

Zur Realisierung der Idee bedarf es der Klärung offen gebliebener Fragestellungen, die in Kapitel 7 zusammengetragen sind. Demnach sollte vor allem die Überströmung der Stemmtore, die Anordnung der Hydraulikzylinder, die elektrische Ausrüstung (MSR-Technik) sowie die Betrachtung konstruktiver Aspekte weiter untersucht werden. Sollten sich zu diesen Punkten adäquate Lösungen finden, so kann die Durchführung tiefergehender Studien und eine Umsetzung des Konzeptes in die Praxis in Erwägung gezogen werden.

Anhang

A 1: Bezeichnung der Stauräume und Ziele nach DIN 19700	XI
A 2: Luftbild Projektgebiet.....	XII
A 3: Schnitte	XIII
A 3.0: Schnitt durch das Absperrbauwerk in wasserseitiger Böschung (Vorplanung)	XIII
A 3.1: Schnitt durch das Absperrbauwerk in wasserseitiger Böschung (bei Anwendung des Konzeptes) – Stemmtore geschlossen.....	XIV
A 4: Vorbemessungen	XV
A 4.0: Vorbemessung Grundablass = Ökologischer Durchlass = Betriebsauslass...	XV
A 4.1: Bemessungsparameter Wegegestaltung	XVI
A 4.2: Vorbemessung Hochwasserentlastung	XVIII
A 5: Kostenschätzung.....	XIX
A 5.0: Gegenüberstellung der Kosten: Vorplanung – Konzept der weit geöffneten Durchlässe.....	XIX
A 5.1: Erläuterung zu den Kostenänderungen	XX
A 5.2: Querschnitt Damm.....	XXI
A 6: Sonstige Berechnungen	XXII
A 6.0: Abflussmessung	XXII
A 6.1: Gebührenverzeichnis zur Gebührensatzung für den Einsatz der Freiwilligen Feuerwehr	XXIII
A 6.2: Kostenberechnung für einen beispielhaften Einsatz der Freiwilligen Feuerwehr Birstein-Bösgesäß	XXIV

A 1: Bezeichnung der Stauräume und Ziele nach DIN 19700

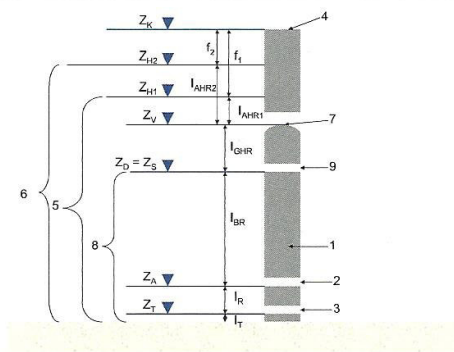


Abb. 1.4a: HRB mit Dauerstau

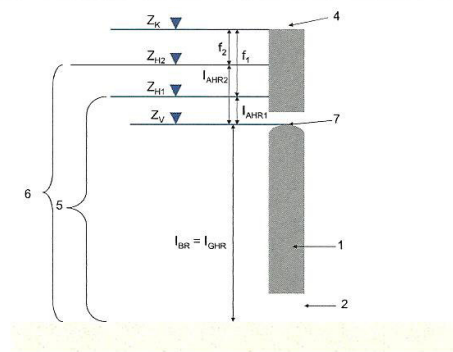


Abb. 1.4b: HRB Trockenbecken

Legende

f_1	Freibord im HWBF 1
f_2	Freibord im HWBF 2
Z_K	Kronenstau = Wasserspiegel in Höhe der Krone des Absperrbauwerkes
Z_{H2}	Hochwasserstauziel 2 infolge BHQ ₂ im HWBF 2
Z_{H1}	Hochwasserstauziel 1 infolge BHQ ₁ im HWBF 1
Z_V	Vollstau = Wasserspiegel in Höhe Überfallkrone bzw. Oberkante Verschluss der Hochwasserentlastungsanlage
Z_S	Stauziel (bei HRB Dauerstauziel Z_D)
Z_A	Absenziel
Z_T	Tiefstes Absenziel
I_{AHR2}	Außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum im HWBF 2, siehe DIN 19700-11, Nummer 4.4 d)
I_{AHR1}	Außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum im HWBF 1, siehe DIN 19700-11, Nummer 4.4 d)
I_{GHR}	Gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum, siehe DIN 19700-11, Nummer 4.4 c) ergibt sich aus dem HWBF 3
I_{BR}	Betriebsraum
I_R	Reserveraum
I_T	Totraum

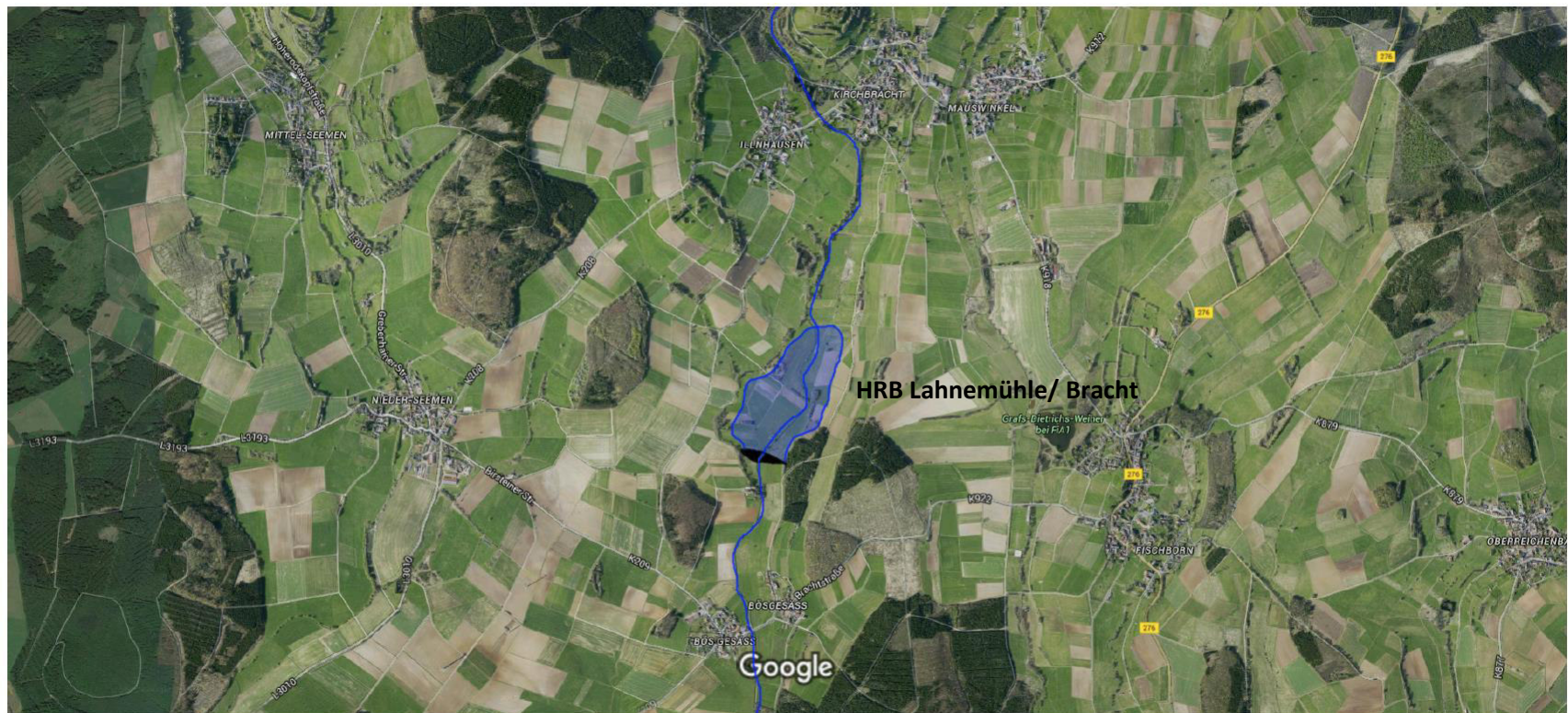
HWBF Hochwasserbemessungsfall

1	Absperrbauwerk
2	Betriebsauslass
3	Grundablass
4	Kronenhöhe
5	Gesamtstauraum im HWBF 1
6	Gesamtstauraum im HWBF 2
7	Überfallkrone oder Oberkante Verschluss der HWEA
8	Dauerstauraum
9	Überlauf zur Begrenzung des Dauerstaus

Quelle: (Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW 2007, S. 11)

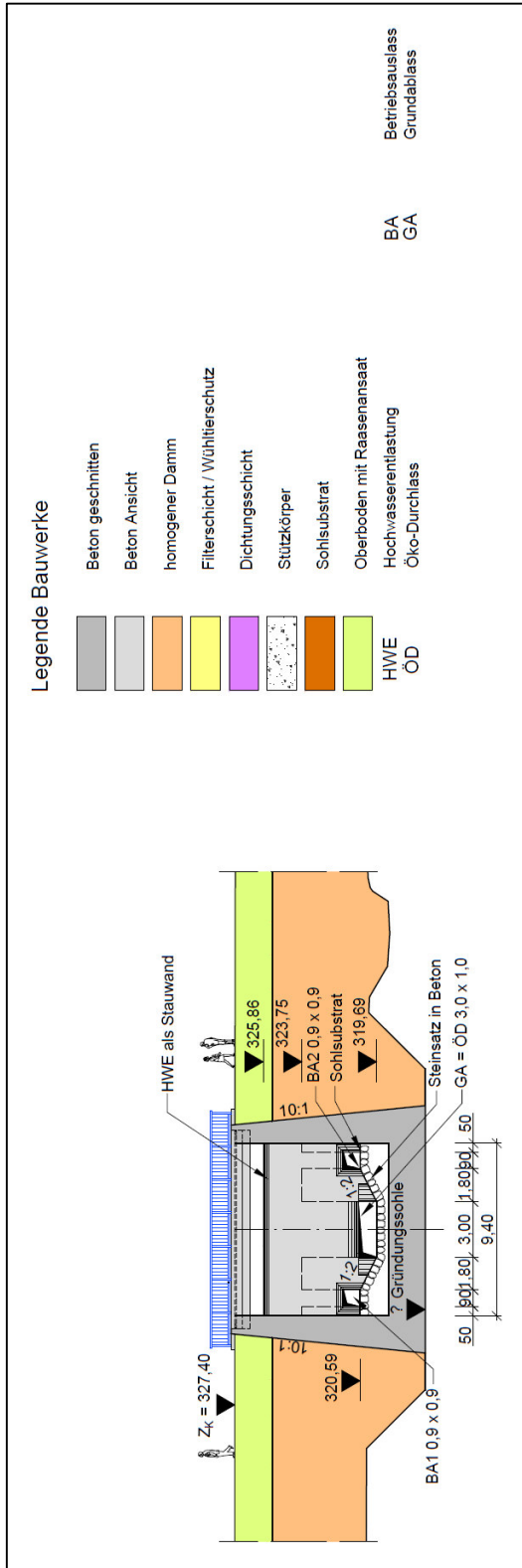
A 2: Luftbild Projektgebiet

Quelle: (Google Maps 2015)



A 3: Schnitte

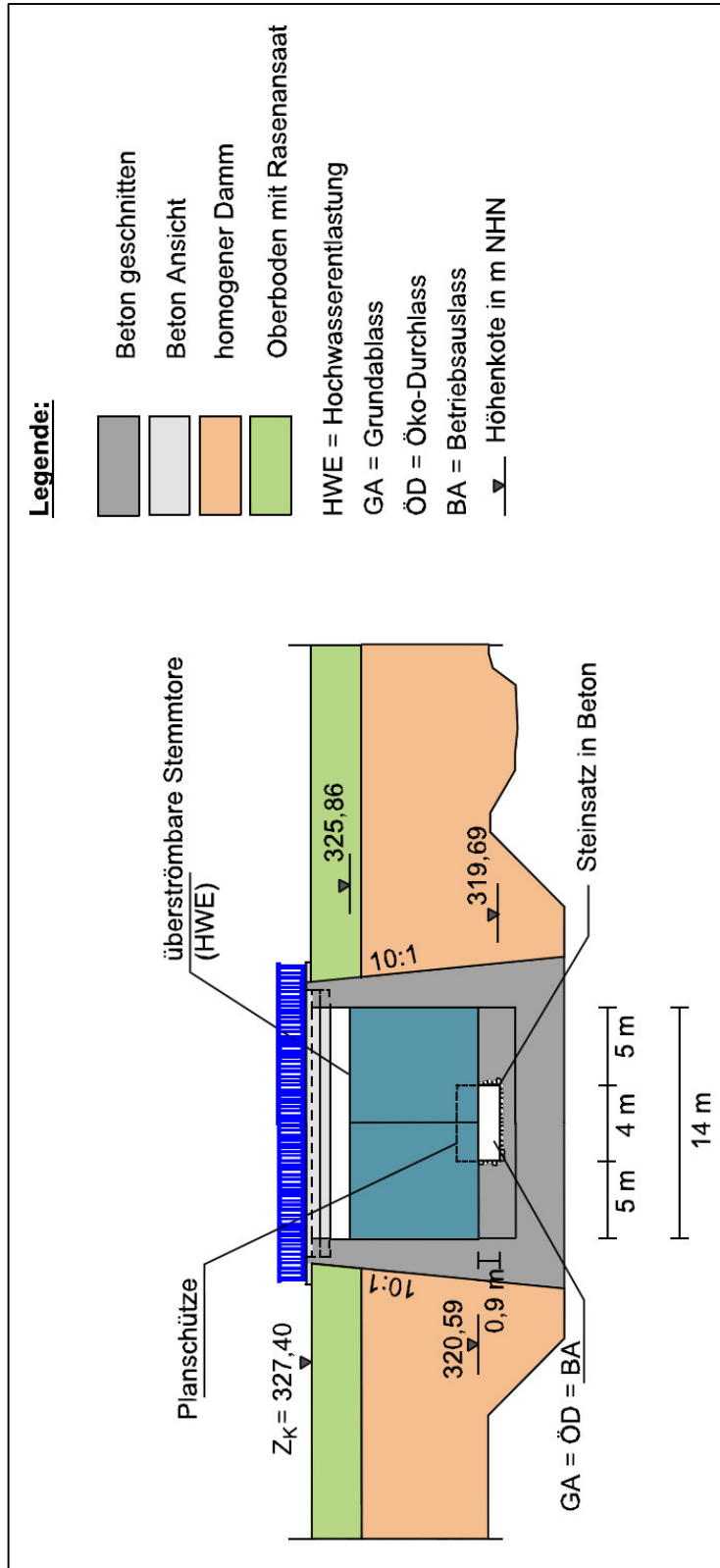
A 3.0: Schnitt durch das Absperrbauwerk in wasserseitiger Böschung (Vorplanung)



Anmerkungen:

- Abbildung ist nicht maßstabgetreu
- Quelle: (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013i)

A 3.1: Schnitt durch das Absperrbauwerk in wasserseitiger Böschung (bei Anwendung des Konzeptes) – Stemmtore geschlossen



Anmerkungen:

- Abbildung ist nicht maßstabgetreu
- Selbst erstellte Abbildung basierend auf Anhang A 3.0

A 4: Vorbemessungen

A 4.0: Vorbemessung Grundablass = Ökologischer Durchlass = Betriebsauslass

A 4.0: Vorbemessung Grundablass = Ökologischer Durchlass = Betriebsauslass

*¹ (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013d, S. 4)

*² (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013c, S. 27)

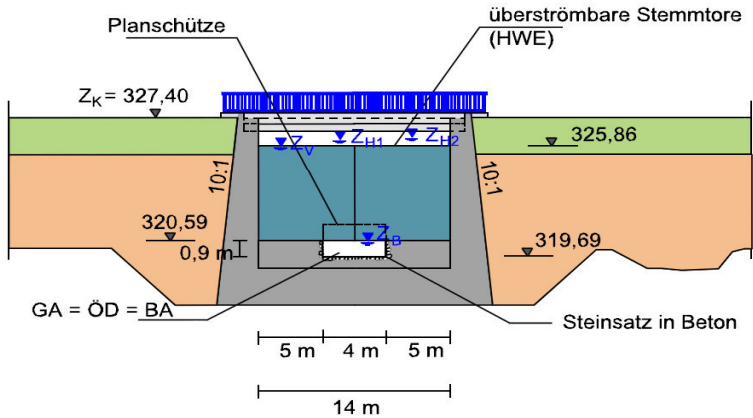
Szenario 1: Wasserstand Z_B (bordvoller Abfluss)

A =	3,6 m²	
k _{st} =	23 m ^{1/3} /s	* ¹
U =	5,8 m	
r _{hy} =	0,62 m	
I =	0,0039 -	* ²
Q =	3,76 m³/s	

$$Q = A \times k_{st} \times r_{hy}^{2/3} \times \sqrt{I}$$

Formel nach Gauckler-Manning-Strickler

A = durchflossener Querschnitt
k_{st} = Stricklerbeiwert [m^{1/3}/s]
U = hydraulischer Umfang [m]
r_{hy} = hydraulischer Radius [m] = A/U
I = Fließgefälle [m/m]



Legende:

	Beton geschnitten
	Beton Ansicht
	homogener Damm
	Oberboden mit Rasenansaat

HWE = Hochwasserentlastung
GA = Grundablass
ÖD = Öko-Durchlass
BA = Betriebsauslass
— Höhenkote in m NHN
▼ Wasserstand
Z_B bordvoller Abfluss = 320,59 m NHN
Z_V Vollstau = OK HWE = 325,86 m NHN
Z_{H1} Hochwasserstauziel im HWBF 1 = 326,19 m NHN
Z_{H2} Hochwasserstauziel im HWBF 2 = 326,28 m NHN

Szenario 2: Wasserstand Z_V (OK Stauwand = 325,86 m NHN)

a =	0,9 m	
b* =	2 m	b* = b/2 [wegen (n-1)-Regel]
h _{OW} =	6,17 m	
a/h _{OW} =	0,15 -	
α =	90 °	
μ _A =	0,59 -	gemäß Bild 8.14
Q =	11,68 m³/s	

$$Q = \mu_A \times a \times b \times \sqrt{2g \times h_{OW}}$$

Vollkommener Ausfluss unter einem Schütz

μ = Ausflussbeiwert [-]
a = Höhe Schützöffnung [m]
b = Breite Durchlass [m]
g = Erdbeschleunigung [= 9,81 m/s²]
h_{OW} = Höhe Wasserstand im Oberwasser [m]
α = Schützneigung [°]

Überprüfen der Abflussverhältnisse

a/h_{OW} = 0,15 mit α = 90° folgt aus Bild 8.14 => ψ = 0,61 ; μ = 0,59

Geg:

a =	0,9 m
b =	4 m
h _{OW} =	6,17 m
α =	90 °

h_{OW}/a = 6,9

Gemäß Bild 8.15 stellt sich bei h_{OW}/a = 6,9 und ψ = 0,61 ab einem Verhältnis von h_{UW}/a = 3,5 rückgestauter Ausfluss ein.
h_{UW}/a = 3,5 => h_{UW} = 3,5 x a = 3,5 x 0,9 m = 3,15 m
=> Ab h_{UW} ≥ 3,15 m stellt sich ein rückgestauter (unvollkommener) Abfluss ein.

Gemäß den örtlichen Gegebenheiten kann das Auftreten eines unvollkommenen Ausflusses ausgeschlossen werden.
Die Berechnung erfolgt daher nach der Formel für den vollkommenen Ausfluss unter einem Schütz.

Szenario 3: Wasserstand Z_{H1} = 326,19 m NHN

a =	0,9 m	
b* =	2 m	b* = b/2 [wegen (n-1)-Regel]
h _{OW} =	6,5 m	
a/h _{OW} =	0,14 -	
α =	90 °	
μ _A =	0,59 -	gemäß Bild 8.14
Q =	11,99 m³/s	

$$Q = \mu_A \times a \times b \times \sqrt{2g \times h_{OW}}$$

Überprüfen der Abflussverhältnisse

a/h_{OW} = 0,14 mit α = 90° folgt aus Bild 8.14 => ψ = 0,61 ; μ = 0,59

Geg:

a =	0,9 m
b =	4 m
h _{OW} =	6,5 m
α =	90 °

h_{OW}/a = 7,2

Gemäß Bild 8.15 stellt sich bei h_{OW}/a = 7,2 und ψ = 0,61 ab einem Verhältnis von h_{UW}/a = 3,6 rückgestauter Ausfluss ein.
h_{UW}/a = 3,6 => h_{UW} = 3,6 x a = 3,6 x 0,9 m = 3,24 m
=> Ab h_{UW} ≥ 3,24 m stellt sich ein rückgestauter (unvollkommener) Abfluss ein.

Gemäß den örtlichen Gegebenheiten kann das Auftreten eines unvollkommenen Ausflusses ausgeschlossen werden.
Die Berechnung erfolgt daher nach der Formel für den vollkommenen Ausfluss unter einem Schütz.

Szenario 4: Wasserstand Z_{H2} = 326,28 m NHN

a =	0,9 m	
b =	4 m	
h _{OW} =	6,59 m	
a/h _{OW} =	0,14 -	
α =	90 °	
μ _A =	0,59 -	gemäß Bild 8.14
Q =	24,15 m³/s	

$$Q = \mu_A \times a \times b \times \sqrt{2g \times h_{OW}}$$

Überprüfen der Abflussverhältnisse

a/h_{OW} = 0,14 mit α = 90° folgt aus Bild 8.14 => ψ = 0,61 ; μ = 0,59

Geg:

a =	0,9 m
b =	4 m
h _{OW} =	6,59 m
α =	90 °

h_{OW}/a = 7,3

Gemäß Bild 8.15 stellt sich bei h_{OW}/a = 7,3 und ψ = 0,61 ab einem Verhältnis von h_{UW}/a = 3,7 rückgestauter Ausfluss ein.
h_{UW}/a = 3,7 => h_{UW} = 3,7 x a = 3,7 x 0,9 m = 3,33 m
=> Ab h_{UW} ≥ 3,33 m stellt sich ein rückgestauter (unvollkommener) Abfluss ein.

Gemäß den örtlichen Gegebenheiten kann das Auftreten eines unvollkommenen Ausflusses ausgeschlossen werden.
Die Berechnung erfolgt daher nach der Formel für den vollkommenen Ausfluss unter einem Schütz.

A 4.0: Vorbemessung Grundablass = Ökologischer Durchlass = Betriebsauslass

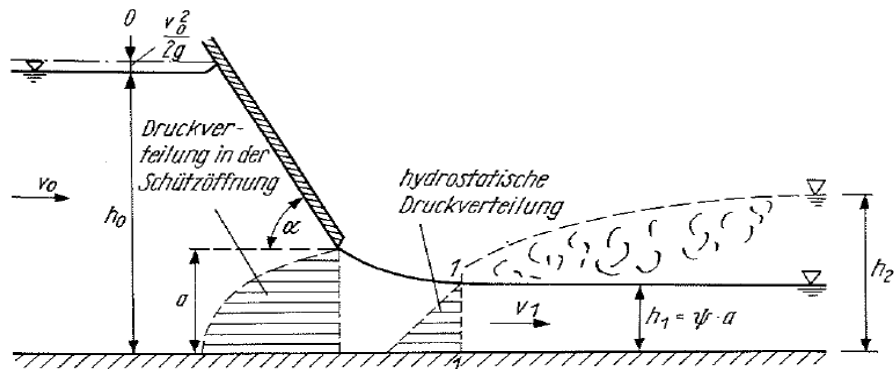


Bild 8.13.
Freier Ausfluß unter Schützen

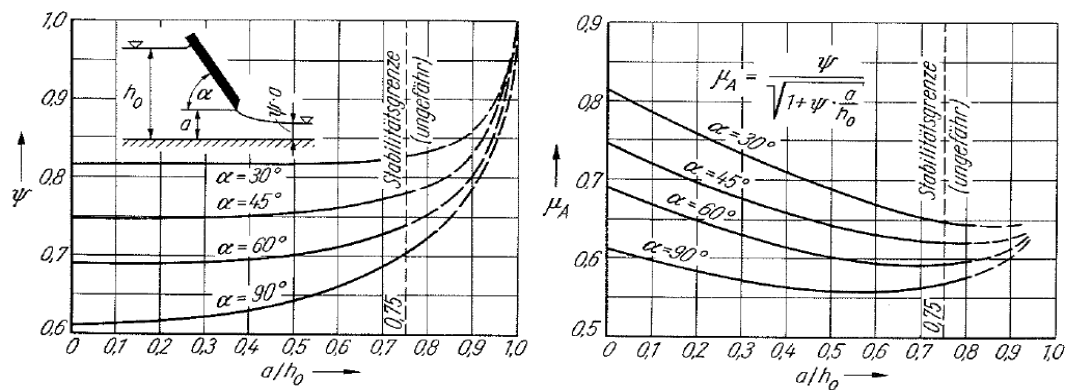


Bild 8.14.
Kontraktionsbeiwert ψ (nach Werner, 1963) und Ausflußbeiwert μ_A für eine geneigte, scharfkantige Planschütze

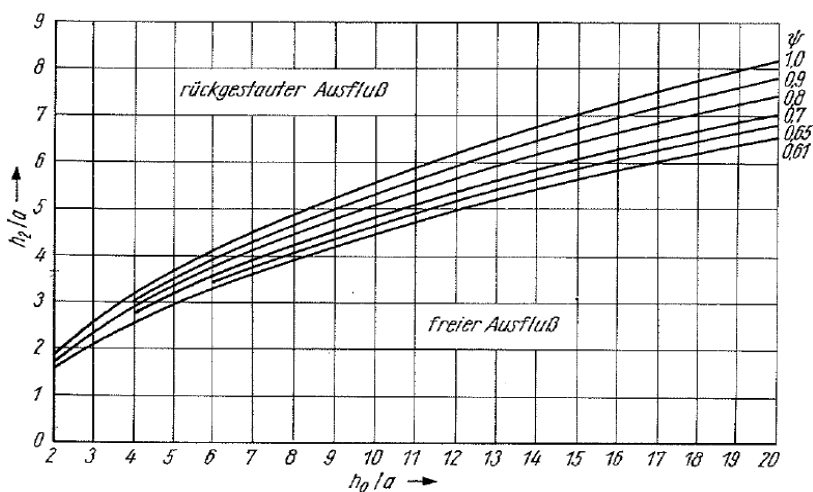


Bild 8.15.
Grenze zwischen freiem und rückgestautem Ausfluß unter Schützen

A 4.1: Bemessungsparameter Wegegestaltung

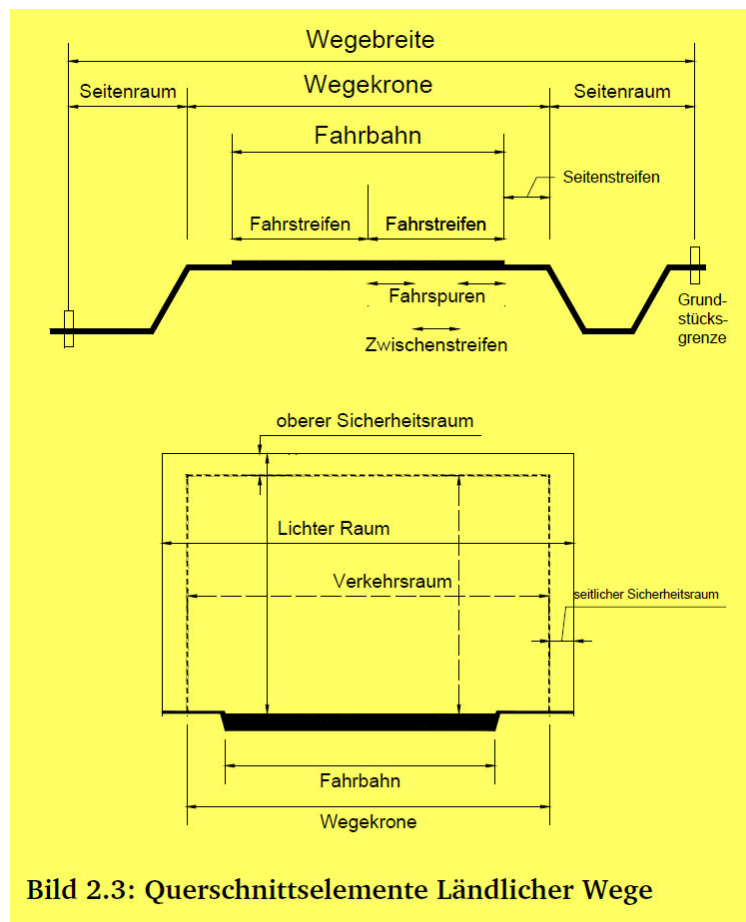
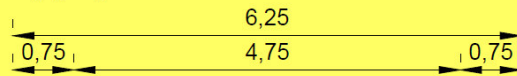


Bild 2.3: Querschnittselemente Ländlicher Wege

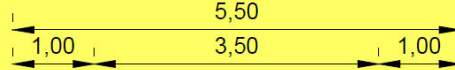
Quelle: (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2014, S. 25)

2.2.7 Entwurfparameter

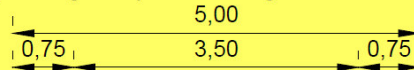
- a) Zweistreifige Verbindungswege mit starkem (häufigem) Begegnungsverkehr



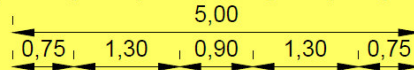
- b) Einstreifige Verbindungswege



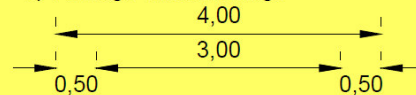
- c) Feldwege - Hauptwirtschaftswege



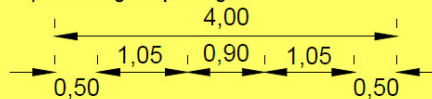
- d) Feldwege - Hauptwirtschaftswege als Spurwege



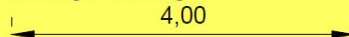
- e) Feldwege - Wirtschaftswege



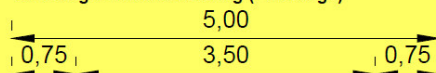
- f) Feldwege - Spurwege



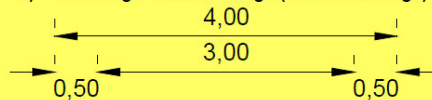
- g) Feldwege - Grünwege



- h) Waldwege - Holzabfuhrweg (Fahrwege)



- i) Waldwege - Betriebswege (Maschinenwege)



Wenn Fahrzeug-Rückhaltesysteme erforderlich sind, um das Abkommen von Fahrzeugen zu verhindern (z.B. auf steilen Dämmen mit mehr als 3 m Höhe), können die Seitenstreifen auf ein Maß von 1,25 m, besser 1,50 m, verbreitert werden.

Bild 2.19: Übersicht über die Breiten der Wegekronen (Fahrbahn und Seitenstreifen), siehe auch Bild 2.3

Quelle: (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2014, S. 38)

A 4.2: Vorbemessung Hochwasserentlastung

Quelle Abbildung: (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013e)

Berechnung Überfall

Überfallformel nach Poleni
 μ = Überfallbeiwert [-]
 B = Breite des Überfalls [m]
 g = Erdbeschleunigung [= 9,81 m/s²]
 h₀ = Überfallhöhe [m]

Wasserstand $Z_{H2} = 326,28$ m NHN

$\mu =$ 0,6 - gemäß Abb. 2.68 ^{*1}
 $b =$ 14,9 m
 $h_0 =$ 0,42 m
 $Q =$ **7,19 m³/s**

Änderung des Wasserspiegels

$$h_{02}^{3/2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \times \frac{b_1}{b_2} \times h_{01}^{3/2}$$

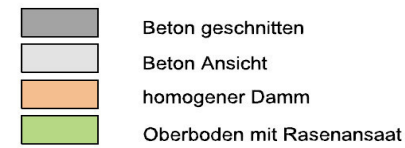
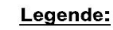
Werte gemäß Konzept

$\mu_2 =$	0,6 -	gemäß Abb. 2.68 * ¹
$b_2 =$	14,9 m	
$h_{02} =$	0,26 m	

Werte gemäß Konzept

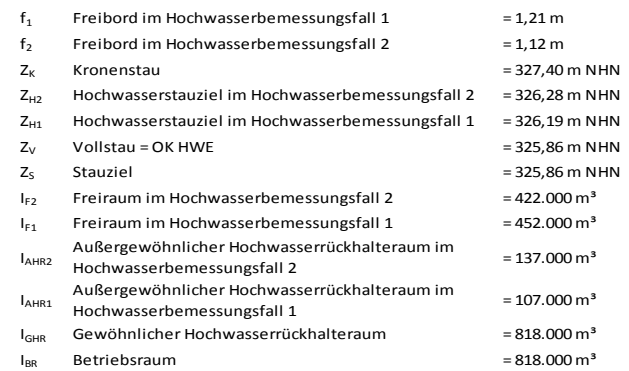
$$\begin{aligned}\mu_2 &= 0,6 - \\ b_2 &= 14,9 \text{ m} \\ h_{02} &= 0,33 \text{ m}\end{aligned}$$

*² "Die Überfallkrone ist halbkreisförmig ausgerundet" (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 24)



Z_B bordvoller Abfluss = 320.59 m NHN

Z_{H2} Hochwasserstauziel im HWBF 2 = 326,28 m NHN



- | | |
|---------|---|
| 1 | Absperrbauwerk |
| 2 und 3 | Grundablass = Ökodurchlass = Betriebsauslass (4 m x 0,9m) |
| 4 | Kronenhöhe (327,40 m NHN) |
| 5 | Gesamtstauraum im Hochwasserbemessungsfall 1 (925.000 m³) |
| 6 | Gesamtstauraum im Hochwasserbemessungsfall 2 (955.000 m³) |
| 7 | Überfallkrone der Hochwasserentlastungsanlage (L = 14,90 m) |

Quelle Abbildung: (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013e)

A 4.2: Vorbemessung Hochwasserentlastung

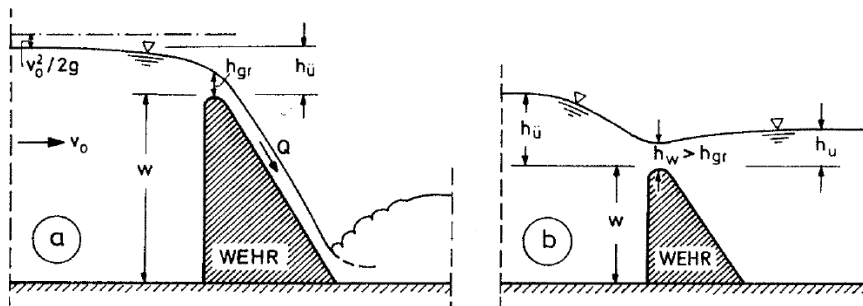


Abb. 2.67: Vollkommener (a) und unvollkommener (b) Überfall

- h_u Überfallhöhe (= Höhe des nicht abgesenkten Wasserspiegels über Wehrkrone, gemessen im Abstand von etwa $3,5 h_u$ oberhalb des Kronenscheitels)
 b Breite der Wehrkrone
 v_0 Anströmgeschwindigkeit oberhalb Senkungsbeginn
 w Wehrhöhe

Skizze	Ausbildung der Wehrkrone	μ
	breit, scharfkantig, waagerecht	0,49 bis 0,51
	breit, gut abgerundete Kanten, waagerecht	0,50 bis 0,55
	breit, vollständig abgerundete Wehrkrone, erreicht z. B. durch eine umgelegte Stauklappe	0,65 bis 0,73
	scharfkantig, Überfallstrahl belüftet	$\approx 0,64$
	rundkronig, lotrechte Oberwasser- und geneigte Unterwasserseite	0,73 bis 0,75
	dachförmig, abgerundete Wehrkrone	0,75 bis 0,79

Abb. 2.68: Überfallbeiwerte μ für Wehre mit unterschiedlich geformten Kronen [2.3], [2.10]

Quelle Abbildungen: (Schröder 1999, S. 197-198)

A 5: Kostenschätzung

A 5.0: Gegenüberstellung der Kosten: Vorplanung – Konzept der weit geöffneten Durchlässe

Darstellung basiert auf Quelle: (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013b)

A 5.0: Gegenüberstellung Kosten Vorplanung - Konzeptvorschlag

HRB Lahnmühle / Bracht

Kostenschätzung

= markiert die Stellen, an denen Unterschiede zu verzeichnen sind

Leistungen	Einheit	Gesch. EP	Ökoschlucht		"Weite Durchlässe"	
			Menge	Summe	Menge	Summe
1	2	3	10	11 (3 x 10)	10	11 (3 x 10)
Baumschutz	psch	5.000	1	5.000	1	5.000
Rodung/Fällung von Bäumen, DU 10-50 cm	psch	7.500	1	7.500	1	7.500
Beräumung Baugelände von Bewuchs	psch	5.000	1	5.000	1	5.000
Oberbodenabtrag (Dicke i.M. 0,50 m) und Lagerung	m²	3	12.500	37.500	12.500	37.500
Umverlegungen und Sicherung von Ver- und Entsorgungsleitungen im Stauraum	psch	10.000	1	10.000	1	10.000
Sicherungen vorh. Betroffener baulicher Anlagen	psch	5.000	1	5.000	1	5.000
Summe vorbereitende Maßnahmen				70.000		70.000
Herstellung Soorn	m³	20	800	16.000	800	16.000
Dammschüttung (homogenes bindiges Material)	m³	20	26.500	530.000	25.567	511.340
Wühlertschutz	m³	20	1.100	22.000	1.100	22.000
Filterschicht zw. Damm und Sickerfuß	m³	25	500	12.500	500	12.500
Sickerfuß	m³	25	800	20.000	800	20.000
Auffüllung am Dammfuß mit anst. Boden	m³	10	150	1.500	150	1.500
Oberboden	m²	6	8.500	51.000	8.500	51.000
Rasensaat	m²	2	8.500	17.000	8.500	17.000
Dammkronenweg B=5,0 m und Kranaufstandsfläche, Aufbau als ungebundene Decke auf Schottertragschicht und FS-Schicht, Geotextil	m²	25	1.700	42.500	1.700	42.500
Summe Damm				712.500		693.840
Erdarbeiten	m³	15	2.800	42.000	4.200	63.000
Konstruktionsbeton für die Bauwerke	m³	350	1.500	525.000	2.250	787.500
Ausbau der Gerinnesohle im Bauwerk	m²	125	450	56.250	450	56.250
Steinschüttungen	m³	75	70	5.250	70	5.250
Geländer	m	100	140	14.000	149	14.920
integrierter Bedienraum	psch	20.000	1	20.000	1	20.000
Stützmauer aus Natursteinblöcken am Ein- und Auslauf	m³	200	14,50	2.900	14,50	2.900
Aufwand für durchgängige Überfahrbarkeit der Krone (Brücke)	Stk	49.600	1,00	49.600	1,50	74.400
Summe Durchlassbauwerk				715.000		1.024.220
Erdarbeiten	m³	15	820,00	12.300	820,00	12.300
Beton für Sohle	m³	150	300,00	45.000	300,00	45.000
Steinsatz/Wasserbaupflaster in Beton	m²	130	550,00	71.500	550,00	71.500
Geländeanpassung	m²	15	200,00	3.000	200,00	3.000
Summe Energieumwandlungsanlage (Tosmulde)				131.800		131.800
Verschlusskörper- / -einrichtung inkl. Antrieb, für Öffnung 0,90 x 0,90 m komplett liefern und montieren	Stk	15.000	2	30.000	0	0
Verschlusskörper- / -einrichtung inkl. Antrieb, für Öffnung 3,00 x 1,00 m komplett liefern und montieren	Stk	35.000	1	35.000	0	0
Stemmtorflügel inkl. Antrieb; komplett liefern und montieren	Stk	300.000	0	0	2	600.000
Verschlusskörper- / -einrichtung inkl. Antrieb, für Öffnung 2,00 x 0,90 m komplett liefern und montieren	Stk	25.000	0	0	2	50.000
Summe Stahlwasserbau				65.000		650.000
E-Technik	psch	60.000	1	60.000	1,3	78.000
MSR-Technik	psch	40.000	1	40.000	1,3	52.000
Messtechnische Bauwerksüberwachung	psch	60.000	1	60.000	1	60.000
Summe Technische Ausrüstung				160.000		190.000
Wildholzsperre	psch	15.000	1	15.000	1	15.000
Wegebau, ungebunden Bauweise, am l. Hang	m²	25	300	7.500	300	7.500
Wegebau, ungebunden Bauweise, 2 Betreiberwege r. Hang	m²	25	850	21.250	850	21.250
Anbindung Dammkronenweg ungebundene Bauweise r. Hang	m²	25	500	12.500	500	12.500
Summe Nebenanlagen				56.250		56.250
Gesamtsumme				1.910.550		2.816.110
Sonstige Leistungen (ca.7%)				139.450		205.576
Zwischensumme				2.050.000		3.021.686
Baustelleneinrichtung (ca.10%)				210.000		308.212
Summe Baukosten (netto)				2.260.000		3.329.898
Summe Baukosten (brutto), MwSt. 19 %				2.689.400		3.962.579

Darstellung basiert auf Quelle: (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013b)

A 5.1: Erläuterung zu den Kostenänderungen

A 5.1: Erläuterung zu den Kostenänderungen bei Anwendung des Konzeptes

Damm

Dammreduktion

Δ Höhe Damm =	0,07	m	(gemäß Anhang A 4.2)
Δ Fläche Damm =	3	m ²	
Länge Damm =	311	m	* ¹
Δ Volumen Damm	933	m ³	
= Δ Fläche Damm x Länge Damm =			
Kosteneinsparung =	933 m ³ x 20 €/m ³	= 18.660 €	

*¹ (= Dammlänge Variante 1 Vorplanung - Breite Durchlassbauwerk gemäß Konzept = 325 m - 14 m)

Durchlassbauwerk

Erdarbeiten

Annahme	Kosten erhöhen sich um den Faktor, um den das Durchlassbauwerk breiter ist als in der Vorplanung → 14 m/9,40 m = 1,489 = 1,5
Kosten Vorplanung	42.000 €
Kosten "Konzept der weit geöffneten Durchlässe"	42.000 € x 1,5 = 63.000 €

Konstruktionsbeton für die Bauwerke

Annahme	Kosten erhöhen sich um den Faktor, um den das Durchlassbauwerk breiter ist als in der Vorplanung → 14 m/9,40 m = 1,489 = 1,5
Kosten Vorplanung	525.000 €
Kosten "Konzept der weit geöffneten Durchlässe"	525.000 € x 1,5 = 787.500 €

Geländer

Δ Länge Geländer	2 x (14m-9,40m) = 9,20 m	(infolge Verbreiterung der Durchlassöffnung)
Δ Kosten	9,20 m x 100 €/m = 920 €	
Kosten Vorplanung	14.000 €	
Kosten "Konzept der weit geöffneten Durchlässe"	14.000 € + 920 € = 14.920 €	

Aufwand für durchgängige Überfahrbarkeit der Krone (Brücke)

Annahme	Kosten erhöhen sich um den Faktor, um den das Durchlassbauwerk breiter ist als in der Vorplanung → 14 m/9,40 m = 1,489 = 1,5
Kosten Vorplanung	49.600 €
Kosten "Konzept der weit geöffneten Durchlässe"	49.600 € x 1,5 = 74.400 €

Stahlwasserbau

Stemmtore inkl. Antrieb; komplett liefern und montieren

Gewicht pro Stemmtorflügel	20	t	* ²
Preis für Stahlwasserbau inkl. Antrieb, Einrichtung, Lieferung Montage (komplett)	15	€/kg	* ²
Summe Stemmtorflügel	2 x 20.000 kg	x 15 €/kg	= 600.000 €

*² gemäß Auskünften der Stahlwasserbaufirmen "ROBERT NYBLAD GmbH" und "Sibau Genthin GmbH & Co. KG" im November 2015

Verschlusskörper/-einrichtung inkl. Antrieb, für Öffnung 2 m x 0,9 m komplett liefern und montieren

Annahme	Mittelwert aus Kosten für Verschlusskörper der Variante "Ökoschlucht" → (15.000 € + 35.000 €)/2 = 25.000 €
---------	---

Technische Ausrüstung

E-Technik

Annahme

Durch die aufwändigere Technische Ausrüstung des Konzeptes erhöhen sich die Kosten um den Faktor 1,3
→ $60.000 \text{ €} \times 1,3 = 78.000 \text{ €}$

MSR-Technik

Annahme

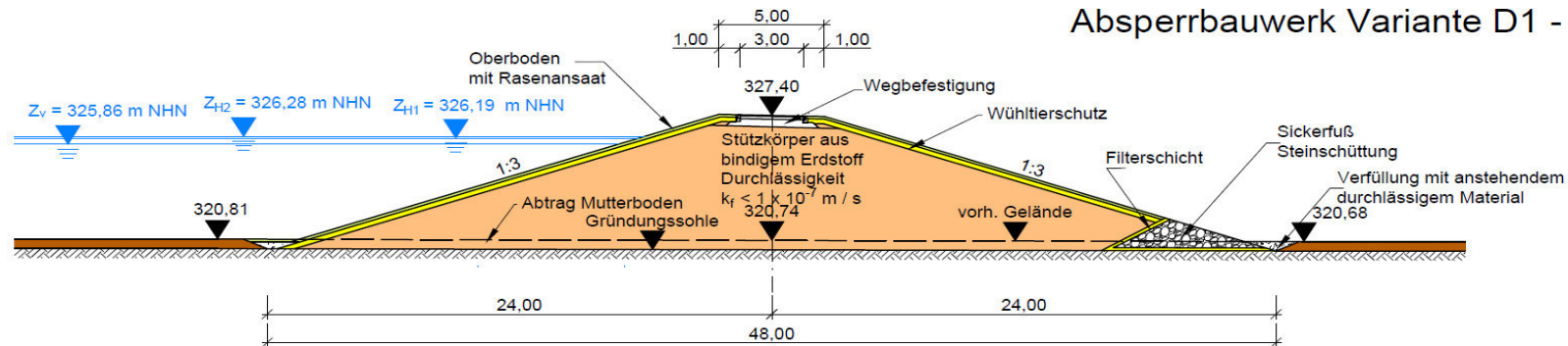
Durch die aufwändigere Technische Ausrüstung des Konzeptes erhöhen sich die Kosten um den Faktor 1,3
→ $40.000 \text{ €} \times 1,3 = 52.000 \text{ €}$

A 5.2: Querschnitt Damm

Quelle Abbildung: (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013j)

A 5.2: Querschnitt Damm

Absperrbauwerk Variante D1 - Homogener Damm



Legende Bauwerke

	Beton geschnitten
	Beton Ansicht
	homogener Damm
	Filterschicht / Wühltierschutz
	Dichtungsschicht
	Stützkörper
	Sohlsubstrat
	Oberboden mit Raasenansaat

Quelle: (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013j)

A 6: Sonstige Berechnungen

A 6.0: Abflussmessung

Auslösewert Q =	0,9 m³/s	
Entfernung Pegel Kirchbracht -		
Standort Becken:	2,5 km	* ¹
Fließquerschnitt A	1,4 m²	* ²

*¹ (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013h, S. 12)

*² Annahme, basierend auf (Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH 2013d, S. 4)

$$Q = v \times A \rightarrow v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,9 \frac{m^3}{s}}{1,40 m^2} = 0,64 \frac{m}{s}$$

Dauer, bis zum Eintreffen des Abflusses am HRB:

$$\frac{2500 m}{0,64 \frac{m}{s}} = 3906,25 s \approx 3906 s \approx 65 min$$

**A 6.1: Gebührenverzeichnis zur Gebührensatzung für den Einsatz der Freiwilligen
Feuerwehr**

Quelle: (Gemeindevertretung der Gemeinde Birstein 2007)

Anlage

zur „Satzung über die Gebühren für den Einsatz der Freiwilligen Feuerwehr“ der Gemeinde Birstein

Gebührenverzeichnis **zur Gebührensatzung für den Einsatz der Freiwilligen Feuerwehr**

1. Gebühr für Personaleinsatz

1.1	Brand- u. Hilfeleistungseinsätze	je Std.	21,00 €
	je Einsatzkraft		
1.2	Brandsicherheitsdienst		
	je Einsatzkraft	je Std.	8,00 €
1.3	Dauert ein Einsatz ohne Unterbrechung mehr als 4 Std., so sind die Kosten für eine den eingesetzten Feuerwehr- angehörigen verabreichte einfache Erfischung und Stärkung zu erstatten.	je Std.	2,50 €

2. Gebühr für den Einsatz von Fahrzeugen

Löschgruppenfahrzeug LF 10/6	je Std.	120,00 €
	je km	1,00 €
Löschgruppenfahrzeug LF 16	je Std.	118,00 €
	je km	1,00 €
Löschgruppenfahrzeug LF 16 TS	je Std.	118,00 €
	je km	1,00 €
Löschgruppenfahrzeug LF 16/12	je Std.	132,00 €
	je km	1,00 €
Hilfeleistungstanklöschfahr- zeug HTLF 24	je Std.	220,00 €
Tanklöschfahrzeug TLF 16/24 (25)	je Std.	102,00 €
	je km	1,00 €
Tragkraftspritzenfahrzeug TSF	je Std.	56,00 €
	je km	1,00 €
Tragkraftspritzenfahrzeug TSFW	je Std.	77,00 €
	je km	1,00 €
Schlauchwagen SW 1000	je Std.	46,00 €
	je km	1,00 €
Schlauchwagen SW 2000	je Std.	62,00 €
	je km	1,00 €
Drehleiter DL	je Std.	150,00 €
	je km	1,25 €
Gerätewagen GW – Rüst	je Std.	51,00 €
	je km	1,00 €
Gerätewagen GW – N	je Std.	26,00 €
	je km	1,00 €
Personenkraftwagen/ Mannschaftskraftwagen	je Std.	25,00 €
PKW/MKW/MTF	je km	1,00 €
Kommandowagen (KDOW)	je Std.	20,00 €
	je km	1,00 €
Einsatzleitwagen 1 (ELW 1)	je Std.	28,00 €
	je km	1,00 €

Soweit der Feuerwehr Birstein besondere Einsatzfahrzeuge oder Sonderfahrzeuge nicht zur Verfügung stehen und diese von anderen Feuerwehren beansprucht werden müssen, sind diese entstehenden Kosten durch derartige (Sonder-) Einsatzfahrzeuge in der tatsächlich entstandenen Höhe der Gemeinde Birstein zu erstatten.

Anlage

zur „Satzung über die Gebühren für den Einsatz der Freiwilligen Feuerwehr“ der Gemeinde Birstein

2.1 Gebühr für den Einsatz von Geräten

Anhängerleiter AL	je Std.	11,00 €
Ölschadenanhänger	je Std.	11,00 €
Löschpulveranhänger	je Std.	11,00 €
Schaummittelanhänger	je Std.	11,00 €
Öl-Schlangelanlage je Teil	je Std.	6,00 €
Motorkettensäge	je Std.	6,00 €
Stromaggregat 5 KVA	je Std.	11,00 €
Greifzug	je Std.	6,00 €
Be- und Entlüftungsgeräte	je Std.	8,00 €
Hebezug mit Pumpe	je Std.	6,00 €
Hebezug ohne Pumpe	je Std.	3,00 €
Boschhammer	je Std.	6,00 €
Motorsägen	je Std.	6,00 €
Funkenfreies Schneidegerät	je Std.	11,00 €
Schneidegerät	je Std.	8,00 €
Spezialleuchten	je Std.	2,00 €
Handscheinwerfer	je Std.	1,00 €
Stromerzeuger 5 KVA	je Std.	11,00 €
Ölauffangbehälter 1000-3000 l	je Tag	8,00 €

2.2 Wasserstrahlpumpen, Spezialpumpen u. ä.:

Wasserstrahlpumpe	je Std.	3,00 €
Großsaug- oder Lenzpumpe (Pumpengröße ca. 200 l/min)	je Std.	6,00 €
Großsaug- oder Lenzpumpe (Pumpengröße ca. 800 l/min)	je Std.	13,00 €
Öl- oder Ölabsaugpumpe einschl. Stromaggregat (Pumpengröße ca. 200 l/min)	je Std.	13,00 €
Öl- oder Ölabsaugpumpe einschl. Stromaggregat (Pumpengröße ca. 400 l/min)	je Std.	16,00 €

3. Gebühren für Atemschutzgeräte

Für den Einsatz der Atemschutzgeräte werden neben der Gebührenfestsetzung nach Ziffer 2 folgende Gebührensätze erhoben:

Preßluftgerät	je Std.	8,00 €
Frischluchtgerät	je Std.	3,00 €
Filtergerät	je Std.	3,00 €

4. Gebühren für die Zeit überlassenen Geräte und Ausrüstungen:

4.1 Wasserfördergeräte und Zubehör

Standrohr mit Schlüssel	je 24 Std.	3,00 €
Verteilungsstück	je 24 Std.	3,00 €
Strahlrohr	je 24 Std.	3,00 €
Wasserstrahlpumpe	je 24 Std.	8,00 €
sonstige wasserführende Armaturen je Stück	je 24 Std.	3,00 €
Schnellkupplungsrohr (etwa 6 m)	je 24 Std.	6,00 €

Anlage

zur „Satzung über die Gebühren für den Einsatz der Freiwilligen Feuerwehr“ der Gemeinde Birstein

	Druckschlauch (15 bzw. 20 m)	je 24 Std.	8,00 €
	Saugschlauch (1,6 bzw. 2,5 m)	je 24 Std.	8,00 €
	Hochdruckschlauch (30 m)	je 24 Std.	8,00 €
4.2	Löschgeräte		
	Feuerlöscher	je 24 Std.	3,00 €
	Kübelspritze	je 24 Std.	3,00 €
4.3	Wiederbelebungsgeräte		
	Sauerstoffbehandlungsgerät	je 24 Std.	3,00 €
	Pulmotor	je 24 Std.	3,00 €
4.4	Sanitätsgeräte		
	großer Feuerwehr-Sanitätskasten	je 24 Std. 6,00 €	
	kleiner Feuerwehr-Sanitätskasten	je 24 Std.	3,00 €
	Krankentrage	je 24 Std.	2,00 €
	Löschdecke	je 24 Std.	2,00 €
4.5	Rettungsgeräte und Hebezeuge		
	Anstell- und Steckleiter	je 24 Std.	6,00 €
	Klappleiter	je 24 Std.	3,00 €
	Schiebeleiter	je 24 Std.	6,00 €
4.6	Sonstige Geräte		
	je Gerät bzw. Gerätesatz	Gebühr wird nach Aufwand u. Zeit berechnet	
5.	<u>Gebühren für die Prüfung von feuerwehrtechnischen Geräten und Ausrüstungen</u>		
5.1	Atemschutzgeräte		
	Die Gebühren werden für die Geräteprüfung je Stück erhoben. Erforderliche Ersatzteile und Materialaufwand aller Art werden zu Tagespreisen + 15 % Aufschlag abgegeben und gesondert berechnet. Die Überprüfung der Atemschutzgeräte schließt die Reinigung und Desinfektion ein.		
	Reinigen/Desinfizieren		
	von Atemschutzgeräten	je Stück	5,00 €
	von Atemschutzmasken	je Stück	2,00 €
	von Lungenautomaten	je Stück	3,00 €
	von Chemieschutzanzügen (CSA)	je Stück	20,00 €
	Füllen/ Prüfen von Flaschen / Geräten		
	Lungenautomat ohne Reinigung	je Stück	5,00 €
	Atemschutzmasken ½ , 4, 6 Jahresprüfung	je Stück	6,00 €
	Atemschutzgerät nach Einsatz ohne Reinigung	je Stück	16,00 €
	Atemschutzgerät ½ Jahresprüfung ohne Reinigung	je Stück	16,00 €
	Atemschutzgerät 6 Jahresprüfung ohne Reinigung	je Stück	46,00 €
	Füllen 200 bar/4 L	je Stück	5,00 €
	Füllen 300 bar/6 L	je Stück	7,00 €
	Füllen über 6,8 L	je Stück	9,00 €
	Chemieschutzanzug (CSA) prüfen	je Stück	25,00 €
	Bereitstellung		
	Atemschutzgeräte je Tag (Leihgerät ohne Benutzung)	je Stück	14,00 €
	Atemschutzflaschen je Tag	je Stück	7,00 €
	Atemschutzmasken je Tag	je Stück	6,00 €
	Chemieschutzanzug (CSA) je Tag	je Stück	30,00 €
	Atemschutzgerät je Tag (inkl. reinigen, füllen, desinfizieren, Geräte, Maske)	je Stück	14,00 €

Anlage

zur „Satzung über die Gebühren für den Einsatz der Freiwilligen Feuerwehr“ der Gemeinde Birstein

Schlauchpflege/-wäsche

Waschen, Prüfen, Trocknen von B, C, D, A-Schläuchen	je Stück	10,00 €
Vulkanisieren je Pflaster		15,00 €
Einbinden von B, C, D, A-Schläuchen	je Stück	8,00 €
Einbinden von A-Kupplung	je Stück	nach Aufwand

Reinigung

Waschen von Nomexhosen+Imprägnierung+Trocken	je Stück	6,00 €
Waschen von Nomexjacken+Imprägnierung+Trocken	je Stück	6,00 €
Waschen von Einsatzhosen+Imprägnierung+Trocken	je Stück	6,00 €
Waschen von Einsatzjacken+Imprägnierung+Trocken	je Stück	6,00 €

5.2 Schläuche

Waschen, Prüfen und Trocknen von Schläuchen	je Schlauch	2,00 €
Vulkanisieren		
a) bis zu einer Größe von 50 x 50 mm	je Schlauch-pflaster	6,00 €
b) bei einer Größe über 50 x 50 mm	je Schlauch-pflaster	7,00 €
Einbinden und Fortbinden von Kupplungen		
A-Schlauch	je Stück	3,00 €
B-Schlauch	je Stück	2,00 €
C-Schlauch	je Stück	1,00 €
D-Schlauch	je Stück	1,00 €

5.3 Prüfen der persönlichen Ausrüstung

Sicherheitsgurte u. Hakengurte	je Stück	2,00 €
Fangleinen	je Stück	2,00 €

5.4 Prüfen von Pumpen

1600 l	je Stück	6,00 €
800 l	je Stück	5,00 €
400 l	je Stück	4,00 €
200 l	je Stück	3,00 €

Reparatur und Instandsetzung von Pumpen
Ersatzteile nach Preisliste

5.5 Prüfen von Leitern

zweiteilige Schiebeleiter	je Stück	4,00 €
dreiteilige Schiebeleiter	je Stück	7,00 €
Anstell- und Steckleiter	je Stück	2,00 €
Drehleiter	je Stück	11,00 €

A 6.2: Kostenberechnung für einen beispielhaften Einsatz der Freiwilligen Feuerwehr Birstein-Bösgesäß

Birstein-Bösgesäß

Personalstärke

Einsatzabteilung 27
Jugendfeuerwehr 7
Ehren- und Altersabteilung 5

Feuerwehrverein

Gründung 1935
Mitglieder 49



Einsatz- und Gefahrenschwerpunkte

- Zimmerei
- metallverarbeitender Betrieb
- Brandbekämpfung
- einfache techn. Hilfeleistung

Fahrzeugbestand und Baujahre

TSF 2003

Quelle: (Kreisfeuerwehrverband Main-Kinzig)

Eingangsdaten:

Einsatzzeit	2	h	(Annahme)
Anzahl Einsatzkräfte	4	-	(Annahme)

Entfernung Feuerwache - Standort HRB Lahnmühle	1,2	km
--	-----	----

Kosten:

Brand- und Hilfeleistungseinsätze je Stunde und

Einsatzkraft	21	€	(vgl. Anhang A 6.1)
Kosten Einsatz TSF je Stunde	56	€	(vgl. Anhang A 6.1)
Kosten Einsatz TSF pro km	1	€	(vgl. Anhang A 6.1)

Peronalkosten	168	€	
Kosten Einsatz Fahrzeug	112	€	
Kilometergeld	2,4	€	
Sonstige Einsatzkosten	50	€	(Annahme, basierend auf Anhang A 6.1)

Einsatzkosten insgesamt	332,4	€
--------------------------------	--------------	----------

Literaturverzeichnis

Aigner, Detlef (2008): Aktuelle Forschungen im Wasserbau 1993 - 2008. Zum 65. Geburtstag von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil Hans-B. Horlacher. Dresden: Selbstverl. (Dresdner wasserbauliche Mitteilungen, 36).

ATV-DVWK (Hg.) (2001): Hochwasserrückhaltebecken. Probleme und Anforderungen aus wasserwirtschaftlicher und ökologischer Sicht [ATV-DVWK-Arbeitsgruppe HW-3.3. "Hochwasserrückhaltebecken". Hrsg. ATV-DVWK, Hennef]. Hennef: GFA (ATV-DVWK-Schriftenreihe, 26).

Bollrich, Gerhard (2000): Technische Hydromechanik 1. Grundlagen. Berlin: Verl. für Bauwesen.

Bundesanstalt für Wasserbau (2011): BAWMitteilungen Nr. 93. Bautechnische und geotechnische Aspekte beim Schleusenbau. Online verfügbar unter http://vzb.baw.de/publikationen/mitteilungsblaetter/1/BAWMitteilungen_Nr_93_Februar_2011.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2015.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2013): Hochwasserschutzfibel. Objektschutz und bauliche Vorsorge. Online verfügbar unter http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/BauenUndWohnen/hochwasserschutzfibel_2.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 17.11.2015.

Dehnert, Hans (1954): Schleusen und Hebewerke. Berlin, Heidelberg: Springer (Handbibliothek für Bauingenieure, Ein Hand- und Nachschlagebuch für Studium und Praxis). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-12946-3>.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2014): Arbeitsblatt DWA-A 904. Richtlinien für die Anlage und Dimensionierung Ländlicher Wege (RLW) - Entwurf.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2015): Merkblatt DWA-M 522. Kleine Talsperren und kleine Hochwasserrückhaltebecken. Stand: Mai 2015. Hennef (Sieg): Dt. Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall (DWA-Regelwerk, M 522).

Ernst, Richard; Baasch, Wolfgang; Ammann, Dieter: Neubau des Hochwasserrückhaltebeckens Hornbach. Hochwasserschutz in Görisried. Online verfügbar unter

http://www.hst.de/fileadmin/pdf/watervision/deutsch/5/wv5_s20-23_goerisried.pdf,
zuletzt geprüft am 17.11.2015.

Freimann, Robert (2013): Hydraulik für Bauingenieure. Grundlagen und Anwendungen.
München: Hanser Verlag (Hanser eLibrary).

Gemeindevertretung der Gemeinde Birstein (2007): Gebührenverzeichnis zur Gebüh-
rensatzung für den Einsatz der Freiwilligen Feuerwehr. Online verfügbar unter
[http://www.tel-birstein.feuerwehr-](http://www.tel-birstein.feuerwehr-birstein.de/downloads/gebuehrenverzeichnisfuerdiefeuerwehrgebuehrens.pdf)
[birstein.de/downloads/gebuehrenverzeichnisfuerdiefeuerwehrgebuehrens.pdf](http://www.tel-birstein.feuerwehr-birstein.de/downloads/gebuehrenverzeichnisfuerdiefeuerwehrgebuehrens.pdf), zu-
letzt geprüft am 16.11.2015.

BNatSchG (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnatur-
schutzgesetz). Online verfügbar unter [http://www.gesetze-im-](http://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/)
[internet.de/bnatschg_2009/](http://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/), zuletzt geprüft am 10.11.2015.

Wasserhaushaltsgesetz - WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts.

Google Maps (2015): Luftbild Projektgebiet. Online verfügbar unter
<https://www.google.de/maps/@50.3906282,9.2732302,3461m/data=!3m1!1e3>, zu-
letzt geprüft am 16.11.2015.

Haberhauer, Horst (Hg.) (2014): Taschenbuch der Antriebstechnik. Mit 47 Tabellen
hrsg. von Horst Haberhauer. München: Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl.

Horlacher, Hans-Burkhard; Carstensen, Dirk (Hg.) (2007): Fünf Jahre nach der Flut.
Hochwasserschutzkonzepte - Planung, Berechnung, Realisierung, Technische Uni-
versität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Wasserbau und Techni-
sche Hydromechanik. Dresden: Inst. für Wasserbau und Techn. Hydromechanik
(Dresdner wasserbauliche Mitteilungen, 35).

Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH (2013a): Anlage 1 - Fotodokumentation.

Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH (2013b): Anlage 11 - Kostenschätzung.

Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH (2013c): Anlage 12 - Unterlagen zur
UVVP.

Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH (2013d): Anlage 6 - Vorbemessung der
Betriebseinrichtungen (HWBF 1 und 2).

Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH (2013e): Anlage 7 - Schema mit Stauräumen und Stauzielen im Plan-Zustand.

Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH (2013f): Anlage 8 - Nachweis der Wirkung auf den Unterlauf der Kinzig.

Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH (2013g): Anlage 9 - Übersicht Varianten Absperrbauwerk.

Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH (2013h): Hochwasserrückhaltebecken Lahnmühle / Bracht - Vorplanung.

Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH (2013i): Zeichn.-Nr. 2-5.1 Hochwasserrückhaltebecken Lahnmühle / Bracht. Betriebseinrichtungen "Ökoschlucht" mit Stauwand - Draufsicht / Längsschnitt / Querschnitte.

Hydroprojekt GmbH / Fugro Consult GmbH (2013j): Zeichn.-Nr.: 2-4.1 Hochwasserrückhaltebecken Lahnmühle / Bracht. Absperrbauwerk Regelquerschnitte Variante D1, D2, D3.

Klima Glossar - Mikroklima. Online verfügbar unter <http://www.klima.org/glossar/m/mikroklima/>, zuletzt geprüft am 08.11.2015.

Kreisfeuerwehrverband Main-Kinzig: Freiwillige Feuerwehren im Main-Kinzig-Kreis. Birstein - Bösgesäß. Online verfügbar unter <http://www.ffmkk.de/feuerwehren/boesgesaess/>, zuletzt geprüft am 16.11.2015.

Kuhn, Rudolf (1985): Binnenverkehrswasserbau Rudolf Kuhn. Berlin: Ernst.

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1995): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Hochwasser - Ursachen und Konsequenzen. Online verfügbar unter http://lawa.de/documents/Leitlinien_d59.pdf, zuletzt geprüft am 14.11.2015.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen - Kaltluftabflüsse. Online verfügbar unter <http://www.klimaatlas.nrw.de/site/nav2/Groessen.aspx?P=4&M=2>, zuletzt geprüft am 08.11.2015.

Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW (2007): Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken. Online ver-

füßbar unter <http://www.lubw.baden->

wuerttem-

berg.de/servlet/is/33880/arbeitshilfe_zur_din19700_hochwasserrueckhaltebecken.pdf?command=downloadContent&filename=arbeitshilfe_zur_din19700_hochwasserrueckhaltebecken.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2015.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2006): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern. Leitfaden. Mannheim (Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie). Online verfügbar unter http://www.lubw.baden-wuerttem-berg.de/servlet/is/22525/durchgaengigkeit_tiere_3.pdf?command=downloadContent&filename=durchgaengigkeit_tiere_3.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2015.

Lattermann, Eberhard (2010): Wasserbau-Praxis. Mit Berechnungsbeispielen Eberhard Lattermann. Berlin: Bauwerk-Verl. (BBB, Bauwerk-Basis-Bibliothek).

Lecher, Kurt (Hg.) (2015): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Grundlagen - Planungen - Maßnahmen. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Ökologische Durchgängigkeit von Hochwasserrückhaltebecken. Zusammenfassung der Vorträge (2006). Online verfügbar unter <http://www.landespflege.uni-freiburg.de/ressourcen/allg/abstractband-hrb06.pdf>, zuletzt geprüft am 17.11.2015.

Partenscky, Hans-Werner (1986): Binnenverkehrswasserbau. Schleusenanlagen. Berlin [u.a.]: Springer.

Richtlinie 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie) (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

Schröder, Wolfgang (1999): Grundlagen des Wasserbaus. Hydrologie - Hydraulik - Wasserrecht. Düsseldorf: Werner (Werner-Ingenieur-Texte).

Schröder, Wolfgang; Römisch, Klaus (2001): Gewässerregelung Binnenverkehrswasserbau. Düsseldorf: Werner (Werner-Ingenieur-Texte: Wasserbau).

Seidel, F.: Die Schwingklappe. Ökohydraulisches Durchlassbauwerk für regulierbare Hochwasserrückhalteräume. Online verfügbar unter

https://iwk.iwg.kit.edu/download/Poster_SK_hoch.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2015.

Seidel, F.; Bernhart, H. H.; Konold, W.; Kaiser, O.; Röck, S. (2009): Die Schwingklappe - Ökohydraulisches Durchlassbauwerk für regulierbare Hochwasserrückhalte-räume - Planung, Bauweise, Betrieb -. Online verfügbar unter http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/94479/BWR24020_Abschlussberich_Okt_09.pdf?command=downloadContent&filename=BWR24020_Abschlussberich_Okt_09.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2015.

DIN 19700-10, 2004: Stauanlagen - Teil 10: Gemeinsame Festlegungen.

DIN 19700-11, 2004: Stauanlagen - Teil 11: Talsperren.

DIN 19700-12, 2004: Stauanlagen - Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken.

Strobl, Theodor; Zunic, Franz (2006): Wasserbau. Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen. Berlin [u.a.]: Springer.

Umweltbundesamt (Hg.) (2008): Deutschland im Klimawandel: Anpassung ist notwendig. Online verfügbar unter http://www.waldundklima.de/klima/klima_docs/uba_dez2008_klimawandel_anpassung.pdf, zuletzt geprüft am 13.11.2015.

Eidesstattliche Erklärung

Abschlussarbeit von:

Herrn Daniel Simon

Erklärung zur Abschlussarbeit gemäß § 22, Abs. 7 APB

Hiermit versichere ich, die vorliegende Abschlussarbeit ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher Form oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Darmstadt, den _____

Unterschrift